

Diplomarbeit

**Ursachen- und Outcome-Analyse für das Auftreten eines
Pneumothorax nach kardiopulmonaler Reanimation**

eingereicht von

David Hötzer

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für Allgemeine Anästhesiologie, Notfall- und
Intensivmedizin**

unter der Anleitung von

**Ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ. Gerhard Prause und
Dr. med. univ. Daniel Auinger**

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Spittal a. d. Drau, am 02.09.2021

David Hötzer eh.

Danksagungen

Für die hervorragende Betreuung, die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bei Dr. med. univ. Daniel Auinger bedanken.

Weiters danken möchte ich Ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ. Gerhard Prause für die Betreuung in grundlegenden Fragen des Studiendesigns, die Unterstützung bei der Erhebung der Falldaten aus dem lokalen Einsatzregister, sowie für sein Engagement rund um das Grazer Reanimationsregister, durch das eine Forschung in dieser Form erst möglich wird.

Ein besonderer Dank gilt Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Herwig Friedl für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der Studiendaten.

Mein abschließender Dank gebührt meinen Eltern (insbesondere meiner Mutter für das Korrekturlesen der Arbeit) und ausgewählten Kommilitonen für die Unterstützung während der Studienzeit.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	i
Inhaltsverzeichnis	ii
Abkürzungen	v
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
Zusammenfassung	x
Abstract.....	xi
1 Einleitung	1
1.1 Der Herzkreislaufstillstand und die Grundlagen der kardiopulmonalen Reanimation.....	1
1.1.1 Herzdruckmassage:.....	3
1.1.2 Beatmung:.....	3
1.1.3 Defibrillation:	3
1.1.4 Medikamente und Flüssigkeit:	4
1.1.5 Reversible Ursachen des HKS:	5
1.1.6 Abbruch der Reanimation:	5
1.2 Die Kinematik der Thoraxkompressionen und das Auftreten von Reanimations- assoziierten Verletzungen.....	8
1.2.1 Verletzungen im Kopf- und Halsbereich.....	9
1.2.2 Verletzungen des Abdomens	9
1.2.3 Luft und Fettembolien	9
1.2.4 Verletzungen des Thorax.....	9
1.3 Der Pneumothorax als Ursache und Komplikation der kardiopulmonalen Reanimation.....	14
1.4 Häufigkeit Literatur	14

1.5	Der Pneumothorax	15
1.5.1	Definition	15
1.5.2	Diagnose	21
1.5.3	Behandlung	29
1.6	Prädisponierende Faktoren und Ursachen für das Auftreten eines Pneumothorax unter Reanimation	32
1.6.1	Geschlecht und Alter	32
1.6.2	Erkrankungen der Lunge	34
1.6.3	Überdruckbeatmung und die Progression des okkulten Pneumothorax	35
1.6.4	Rippenfrakturen	36
1.6.5	Reanimationsdauer	36
1.7	Studienrelevante Begriffsdefinitionen und Einflussgrößen	37
1.7.1	Einfluss der Laienreanimation/Delay	37
1.7.2	Definition und Einfluss der Reanimationsdauer	39
1.7.3	ROSC Definition	39
1.7.4	CPC	39
1.7.5	PES(A)	40
1.8	Reanimationsregister	41
1.8.1	Zweck und Aufbau	41
1.8.2	Utstein Kriterien	42
2	Material und Methoden	43
3	Ergebnisse	46
3.1	Erstellung des Datensatzes:	46
3.2	Häufigkeiten und Verteilungen der Einflussgrößen:	48
3.2.1	Pneumothorax	48
3.2.2	CPC	48
3.2.3	Pulmonale Vorerkrankungen	49

3.2.4	Alters- und Geschlechterverteilung	49
3.2.5	Delay und Laienreanimation	50
3.2.6	Präklinische Versorgungszeit	51
3.2.7	Reanimationszeit	52
3.2.8	PES(A) Scores	52
3.2.9	Aufenthaltsdauer (Stay).....	53
3.3	Outcome-Analyse	54
3.3.1	Überleben.....	54
3.3.2	Neurologisches Outcome.....	57
3.3.3	Stay-Modell	60
3.4	Ursachenanalyse für das Auftreten eines Pneumothorax	62
4	Diskussion	63
4.1	Häufigkeiten	63
4.2	Outcome-Analyse	65
4.3	Reanimationsassoziierter Pneumothorax.....	67
4.4	Datenqualität und Limitationen	68
4.5	Conclusio	70
	Literaturverzeichnis	71

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AED	Automatisierter externer Defibrillator
AHA	American Heart Association
ALS	Advanced life support
ASA	American Association of Anesthesiologists
BLS	Basic life support
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
CT	Computertomographie
CPC	Cerebral Performance Category
GRR	German Resuscitation Register
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
DNR	Do Not Resuscitate
eFAST	extended Focused Assessment with Sonography for Trauma
ERC	European Resuscitation Council
HKS	HerzKreislaufstillstand
ICD	Implantable Cardioverter-Defibrillator
ITI	Intra Thoracic Injuries
i.v.	intravenös
LKH	Landeskrankenhaus
KIS	Krankenhausinformationssystem
NEF	Notarzteinsatzfahrzeug
OHCA	Out of Hospital Cardiac Arrest
OPTX	Okkulter Pneumothorax
PES	Pre Emergency Status

PESA	Pre Emergency Status Assessment
PEEP	Positive EndExpiratory Pressure
PSP	Primärer Spontanpneumothorax
ROSC	Return of spontaneous circulation
SCI	Skeletal Chest Injuries
SSP	Sekundärer Spontanpneumothorax
VE	Vorerkrankungen
ZVK	Zentralvenenkatheter

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: AHA Adult Cardiac Arrest Algorithm (7)	2
Abbildung 2: Post Resuscitation Care ERC 2021 (9)	7
Abbildung 3: Complications of cardiac resuscitation (11).....	8
Abbildung 4: rib and sternal fractures (19)	11
Abbildung 5: ERC Guidelines and SCI (17)	12
Abbildung 6: Buckle rib fracture (26)	13
Abbildung 7: Lufteintritt beim Pneumothorax (34)	16
Abbildung 8: Lungenerkrankungen beim sekundären Pneumothorax (1).....	17
Abbildung 9: Vergleich PSP und SSP (1)	18
Abbildung 10: Contralateral mediastinal shift in Tensionpneumothorax (38).....	19
Abbildung 11: Hemidiaphragm depression in Tensionpneumothorax(38).....	20
Abbildung 12: Ausdehnung Pneumothorax (35).....	21
Abbildung 13 Lung Sliding in Ultrasound (50)	24
Abbildung 14: Lungensonographie(45).....	25
Abbildung 15: Position des Schallkopfes (48)	26
Abbildung 16: B-Lines (50)	27
Abbildung 17: hyperechogene extrathorakale Strukturen (53)	28
Abbildung 18: SCI (14)	33
Abbildung 19: SSP und die Erkrankungen der Lunge (35).....	34
Abbildung 20: Zeitabhängigkeit der Reanimations-assoziierten Verletzungen (29)	37
Abbildung 21: ROSC Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Zeitfaktor (67).....	38
Abbildung 22: Cerebral Performance Category (74)	40
Abbildung 23: Utstein Kriterien (83)	42
Abbildung 24: CPC Verteilung	48

Abbildung 25: Verteilung der pulmonalen Vorerkrankungen.....	49
Abbildung 26: Altersverteilung der Studienpopulation.....	50
Abbildung 27: Geschlechterverteilung der Studienpopulation	50
Abbildung 28: Delay bei erfolgter Laienreanimation n=84	51
Abbildung 29: Delay ohne erfolgter Laienreanimation n=92	51
Abbildung 30: Verteilung der präklinischen Versorgungszeit.....	52
Abbildung 31: Verteilung der präklinischen Reanimationsdauer	52
Abbildung 32: Verteilung der PES (A) Scores.....	53
Abbildung 33: Verteilung der stationären Aufenthaltsdauer.....	53
Abbildung 34: Reanimationszeit und PES bei einem Delay von 3 Minuten.....	56
Abbildung 35: Delay und PES bei einer Reanimationszeit von 20min.....	56
Abbildung 36: Pneumothorax ja/nein und gemittelte Kurve.....	57
Abbildung 37: Wahrscheinlichkeit CPC favorable (Reanimationszeit = 20 Min.).....	59
Abbildung 38: Wahrscheinlichkeit CPC favorable (Delay = 3 Min.).....	59
Abbildung 39: Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit vom Delay	60
Abbildung 40: Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit von der CPC.....	61
Abbildung 41: Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit von der Reanimationsdauer.....	61
Abbildung 42: Aufenthaltsdauer und Überlebt ja/nein.....	62
Abbildung 43: Stationäre Aufenthaltsdauer Überlebt Ja/Nein.....	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Häufigkeit von Rippen und Sternumfrakturen	10
Tabelle 2 Drucktiefe und Frequenz der Herzdruckmassage.....	12
Tabelle 3 Die Häufigkeit des Pneumothorax in der Literatur	15
Tabelle 4: Übersichtstabelle der deskriptiven Daten.....	54

Zusammenfassung

Einleitung: Im Rahmen der kardiopulmonalen Reanimation kommt es durch die Thoraxkompressionen unweigerlich zu Verletzungen am Brustkorb. Neben den sehr häufig auftretenden knöchernen Thoraxverletzungen können Lungenverletzungen und ein Pneumothorax auftreten. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Faktoren das Auftreten eines Pneumothorax begünstigen und welchen Einfluss dieser auf das Überleben der Reanimierten nimmt.

Material und Methoden: In die retrospektive Analyse eingeschlossen wurden sämtliche nach atraumatischem HerzKreislaufstillstand durch das am LKH-Univ. Klinikum Graz stationierte Notarzteinsetzfahrzeug (NEF) Reanimierte der Jahre 2014-2019, die einen Return of Spontaneous Circulation (ROSC) erlangten und in weiterer Folge im Krankenhaus (LKH-Univ. Klinikum Graz bzw. LKH Graz II Standort West) stationär aufgenommen wurden. Der Export der Falldaten erfolgte aus dem deutschen Reanimationsregister (Standort „Graz- Notarzwagen Universitätsklinikum Graz“) und dem lokalen Einsatzregister. Die innerklinischen Verläufe der Reanimierten wurden im MEDOCS nachverfolgt und aus den radiologischen Befunden der ersten 12 Stunden nach Aufnahme erfolgten die Angaben zu einem vorliegenden Pneumothorax.

Ergebnisse: Von 176 eingeschlossenen Fällen überlebten 61 den HerzKreislaufstillstand, in 115 Fällen verstarben die Reanimierten im Krankenhaus. Ein Pneumothorax wurde in 13,6% der Fälle diagnostiziert (n=24). In der Outcome-Analyse, die das Überleben ja/nein im Allgemeinen und das neurologische Outcome gemessen an der Cerebral Performance Category (CPC) untersuchte, korrelierten ein hoher Pre Emergency Status (PES) ($p = <0.001$), ein langes Delay ($p = <0.001$) und eine lange Reanimationszeit ($p = <0.001$) mit einem schlechteren Outcome. Ein Pneumothorax hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf das Überleben der Reanimierten. Obstruktive Lungenerkrankungen begünstigten das Auftreten eines Pneumothorax maßgeblich. ($p= 0,013$)

Diskussion: Der Pneumothorax in der Reanimation stellt ein nicht seltenes Phänomen dar, das im Rahmen der Reanimation vor allem bei dem vorliegenden Risikofaktor einer obstruktiven Lungenerkrankung immer ausgeschlossen werden sollte. Bezüglich einer Optimierung des Outcomes von Reanimierten scheint in Anbetracht der Ergebnisse die Förderung von Delay verkürzenden Faktoren, allen voran die der Laienreanimation, wesentlich zu sein.

Abstract

Title: Cause and outcome analysis for the occurrence of pneumothorax after cardiopulmonary resuscitation

Introduction: During cardiopulmonary resuscitation, chest compressions inevitably lead to chest injuries. In addition to the very common skeletal chest injuries, lung injuries and a pneumothorax can occur. In this context, the question arises which factors favor the occurrence of a pneumothorax and if its presence impacts survival rate and neurological outcome of resuscitated patients.

Material and methods: The retrospective analysis included all patients with atraumatic Out of Hospital Cardiac Arrest (OHCA) resuscitated by the Notarzteinsatzfahrzeug (NEF) LKH-Univ. Klinikum Graz in the years 2014-2019, who obtained Return of Spontaneous Circulation (ROSC) and were admitted to the hospital (LKH-Univ. Klinikum Graz and LKH Graz II Standort West). The data set was created by exporting case data from the German resuscitation register location "Graz-Notarztwagen Universitätsklinikum Graz" and the local case protocols of the NEF LKH-Univ. Klinikum Graz. In-hospital data of patients was ascertained from the MEDOCS hospital information system, occurrence of pneumothorax was derived from radiological examinations conducted within the first 12 hours after admission.

Results: Of the 176 cases included, 61 survived cardiac arrest and in 115 cases the resuscitated died in hospital. A Pneumothorax was diagnosed in 13.6% of the cases ($n = 24$). Outcome analysis identified higher pre-emergency status (PES), longer delay and longer resuscitation time as statistically significant factors associated with lower survival rate and poorer neurological outcome (all $p < 0,001$). Pneumothorax showed no statistically significant relation to survival or CPC of resuscitated persons. The presence of obstructive pulmonary disease was found to be a significant factor promoting the occurrence of pneumothorax ($p = 0.013$).

Discussion: Pneumothorax in resuscitation is not an uncommon phenomenon, which should always be excluded, especially if the risk factor of obstructive lung disease is present. Regarding the outcome of cardiac arrest patients, the optimization of delay shortening factors such as lay resuscitation seems to be essential to improve the survival probability and neurological outcome of resuscitated patients.

1 Einleitung

1.1 Der Herzkreislaufstillstand und die Grundlagen der kardiopulmonalen Reanimation

Unter einem Herzkreislaufstillstand (HKS) versteht man - weit gefasst - einen Ausfall der Pumpfunktion des Herzens mit Ausbleiben einer Blutzirkulation. In der Folge kommt es zu einer Gewebshypoxie und innerhalb von wenigen Sekunden zur Bewusstlosigkeit. Um eine Wiederherstellung des Kreislaufs zu erlangen, wurden die Maßnahmen der kardiopulmonalen Reanimation entwickelt. (2)

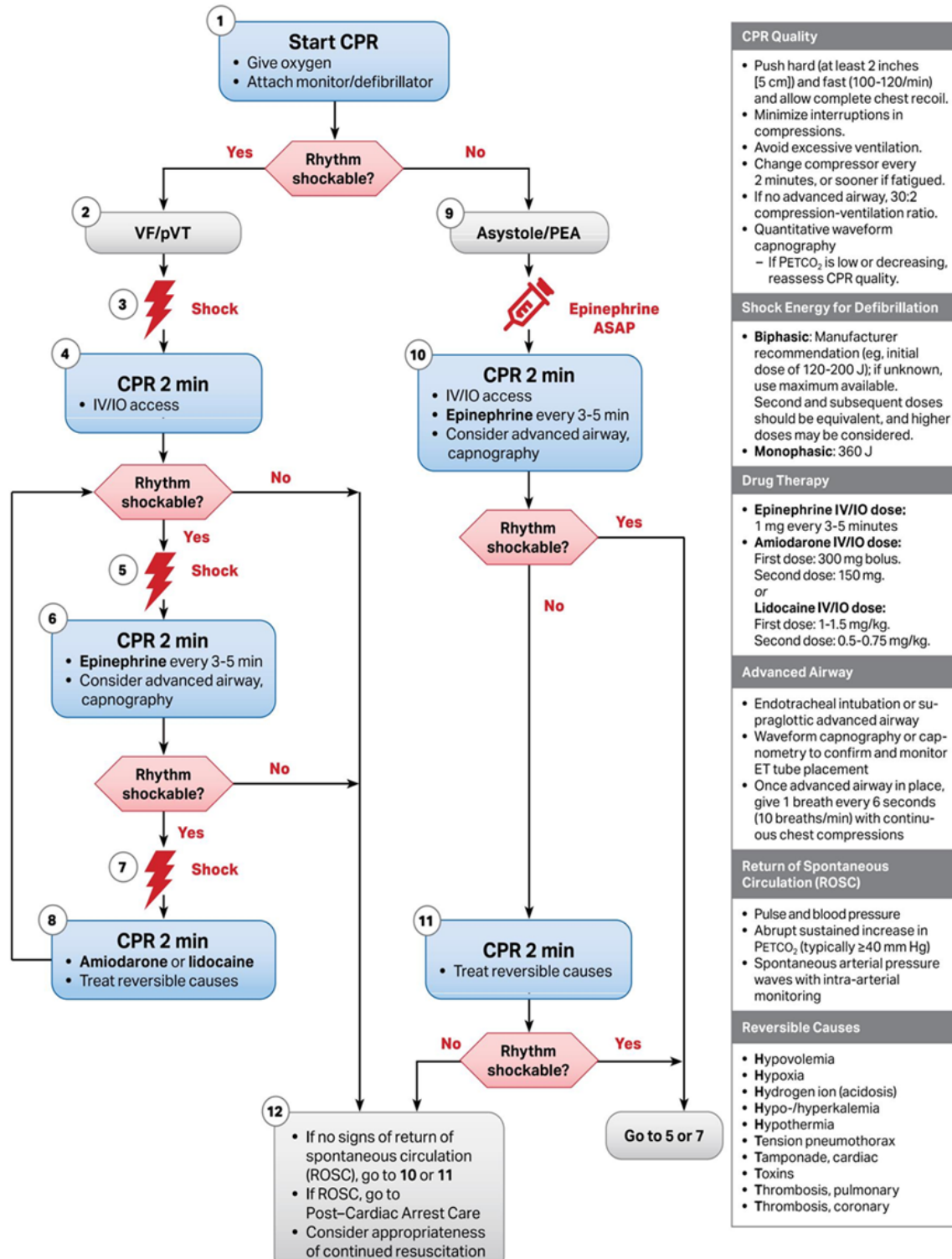
Die Inzidenz des präklinischen HKS mit durchgeführter kardiopulmonaler Reanimation betrug in der EuReCa Two Studie im Mittel 56 pro 100.000 Einwohner pro Jahr (3). Aus den Einsatzzahlen des NEF (Notarzteinsatzfahrzeug), Standort LKH-Univ. Klinikum Graz, lässt sich für die Grazer Bevölkerung eine durchschnittliche Inzidenz des präklinischen Kreislaufstillstandes von 62 Fällen/ 100.000 Einwohner /Jahr für das Versorgungsgebiet errechnen (4).

Eine Indikation zur Reanimation wird im Basic Life Support (BLS/Laienreanimation) bei einem vorliegenden Atemstillstand gestellt. Die Kontrolle der Atmung und das Stellen der Diagnose Atemstillstand erfolgt durch das Hören (Ohr am Mund), Sehen (Blick auf den Brustkorb) und Fühlen (spürbarer Luftstrom bei Ausatmung) von Atemanstrengungen für 10 Sekunden. Im Advanced Life Support (ALS) wird bei Abwesenheit einer Atmung eine Kreislaufkontrolle durchgeführt. Das Tasten des Karotispulses sollte jedoch nur von erfahrenem Personal durchgeführt werden. Im Allgemeinen gilt: Liegt ein leichter Zweifel über das Vorhandensein/Fehlen eines Pulses vor, ist umgehend mit der Herzdruckmassage zu beginnen, da eine Herzdruckmassage bei vorhandenem Puls keinen wesentlich negativen Effekt aufzeigt, auf der anderen Seite aber ein Delay mit verzögertem Beginn der Herzdruckmassage große Auswirkungen auf die Überlebenschance hat. (5)

Nachdem der (Atem-) Kreislaufstillstand erkannt wurde, erfolgt die Entscheidung, ob mit der Reanimation begonnen werden sollte, im ALS einerseits anhand einer medizinischen Abwägung, ob eine Reanimation überhaupt Aussicht auf Erfolg hat, andererseits gilt es Informationen über den Patientenwunsch einzuholen (DNR = Do not Resuscitate Order) und die ethische Vertretbarkeit von Maßnahmen zu erwägen (6). Die genaue Ausführung der verschiedenen Szenarien, Abläufe und Durchführungen der kardiopulmonalen

Reanimation würden den Hauptfokus dieser Arbeit verschieben. So soll im Folgenden nur überblicksmäßig die Beschreibung der Grundpfeiler der kardiopulmonalen Reanimation erfolgen:

Adult Cardiac Arrest Algorithm



CPR Quality

- Push hard (at least 2 inches [5 cm]) and fast (100-120/min) and allow complete chest recoil.
- Minimize interruptions in compressions.
- Avoid excessive ventilation.
- Change compressor every 2 minutes, or sooner if fatigued.
- If no advanced airway, 30:2 compression-ventilation ratio.
- Quantitative waveform capnography
 - If PETCO₂ is low or decreasing, reassess CPR quality.

Shock Energy for Defibrillation

- **Biphasic:** Manufacturer recommendation (eg, initial dose of 120-200 J); if unknown, use maximum available. Second and subsequent doses should be equivalent, and higher doses may be considered.
- **Monophasic:** 360 J

Drug Therapy

- **Epinephrine IV/IO dose:** 1 mg every 3-5 minutes
- **Amiodarone IV/IO dose:** First dose: 300 mg bolus. Second dose: 150 mg.
- **Lidocaine IV/IO dose:** First dose: 1-1.5 mg/kg. Second dose: 0.5-0.75 mg/kg.

Advanced Airway

- Endotracheal intubation or supraglottic advanced airway
- Waveform capnography or capnometry to confirm and monitor ET tube placement
- Once advanced airway in place, give 1 breath every 6 seconds (10 breaths/min) with continuous chest compressions

Return of Spontaneous Circulation (ROSC)

- Pulse and blood pressure
- Abrupt sustained increase in PETCO₂ (typically ≥40 mm Hg)
- Spontaneous arterial pressure waves with intra-arterial monitoring

Reversible Causes

- Hypovolemia
- Hypoxia
- Hydrogen ion (acidosis)
- Hypo-/hyperkalemia
- Hypothermia
- Tension pneumothorax
- Tamponade, cardiac
- Toxins
- Thrombosis, pulmonary
- Thrombosis, coronary

Abbildung 1: AHA Adult Cardiac Arrest Algorithm (7)

1.1.1 Herzdruckmassage:

Die Herzdruckmassage sollte beim Erwachsenen abwechselnd mit der Beatmung in einem Rhythmus von 30:2 und einer Frequenz von 100-120 Kompressionen pro Minute durchgeführt werden. Der Druckpunkt befindet sich im unteren Sternum-Drittel, die empfohlene Drucktiefe beträgt mindestens 5cm aber nicht mehr als 6cm, durchaus auch abhängig von der Ausdehnung des Thorax im individuellen Fall. Auf eine ausreichende Entlastung des Thorax nach jeder durchgeführten Kompression ist zu achten, damit eine Ventrikelfüllung erfolgen kann. Wenn möglich, sollten sich die Personen, die eine Herzdruckmassage durchführen mindestens alle 2 Minuten abwechseln, um insuffiziente Kompressionen durch Ermüdung zu vermeiden. (5)

1.1.2 Beatmung:

Zur Beatmung stehen verschiedenste Devices zur Verfügung, die oft aufbauend aufeinander eingesetzt werden und in ihrer Effizienz sehr wesentlich von der Routine des Anwenders abhängig sind. Als wohl einfachste Variante gilt die Mund-zu-Mund-Beatmung, zum Freimachen der Atemwege wird eine Überstreckung des Kopfes durchgeführt. Wie bei allen Beatmungsformen sollten Erbrochenes und/oder Fremdkörper vorher, soweit einsehbar, entfernt werden. Als nächste Stufe ist die Beutel-Masken-Beatmung zu sehen, die mit oder ohne Oropharyngealtubus (Guedel-Tubus) bzw. Nasopharyngealtubus (Wendel-Tubus) durchgeführt werden kann. Supraglottische Atemwegshilfen wie der Larynx-tubus oder die Larynxmaske stellen weitere Möglichkeiten dar. Die endotracheale Intubation gilt als optimale Methode zur Sicherung der Luftwege (Gold-Standard). Es besteht jedoch ein breiter Konsens darüber, dass die endotracheale Intubation nur bei ausreichender Erfahrung des Anwenders und Vorhandensein einer Kapnometrie/-graphie zur Verifizierung der korrekten Tubuslage, sicher anzuwenden ist. Bei endotracheal gesichertem Atemweg sollte die Herzdruckmassage und Beatmung kontinuierlich und nicht mehr alternierend im Rhythmus 30:2 erfolgen. (5)

1.1.3 Defibrillation:

Nach dem Kleben der Defibrillator-Pads in der anterior-lateralen oder anterior-posterioren Position erfolgt die Rhythmusanalyse, bei der die Herzdruckmassage bzw. jegliche Manipulation am zu Reanimierenden kurz unterbrochen werden muss. Bei Vorliegen eines schockbaren Rhythmus (Kammerflimmern oder pulsloser ventrikulärer Tachykardie) wird der Defibrillator geladen. Bei biphasischen Defibrillatoren sollte für den ersten Schock,

abhängig von der abgegebenen Wellenform auf 120-200 Joule geladen werden. Da die Wellenform jedoch nicht immer einfach ersichtlich ist, wird die Abgabe von 150 Joule empfohlen. Eine Einstellung der Energie ist bei AEDs (automatisierte externer Defibrillatoren/"Laien-Defibrillatoren") nicht nötig und zumeist erfolgt hier die Abgabe von 200 Joule. Sofern keine Kontraindikationen für eine Schockabgabe vorhanden sind, wird in einer möglichst kurz zu haltenden "Hands-off Zeit" ein Schock abgegeben und danach sofort die Herzdruckmassage fortgesetzt. Die Kontrolle, ob eine Konvertierung zum Sinusrhythmus gelungen ist, erfolgt bei der nächsten Rhythmusanalyse nach 2 Minuten. (5)

1.1.4 Medikamente und Flüssigkeit:

L-Adrenalin/Epinephrin i.v.(intravenös): Auch wenn die Evidenz über den Effekt von Adrenalin beim Herzkreislaufstillstand rar ist, findet sich die Gabe von Adrenalin (L Adrenalin 10ml = 1mg bzw. Epinephrin 1ml = 1mg) nach wie vor in den Empfehlungen zur kardiopulmonalen Reanimation verankert. Im schockbaren Teil des Algorithmus (Kammerflimmern, pulslose ventrikuläre Tachykardie) erfolgt die Gabe von 1mg Adrenalin i.v. nach dem dritten, nicht erfolgreichen Schock, und dann alle 3-5 Minuten. Im nicht schockbaren Schenkel (pulslose elektrische Aktivität und Asystolie) sollte so schnell wie möglich 1mg Adrenalin i.v. verabreicht werden. (5)

Amiodarone und Lidocain: Diese werden als gleichwertige Antiarrhythmika beim Kammerflimmern und der pulslosen ventrikulären Tachykardie nach der 3. Schockabgabe mit 300mg bzw. 100mg i.v/i.o appliziert. Eine weitere Dosis von 150mg bzw. 50mg erfolgt nach dem fünften frustranen Schock. (5)

Flüssigkeiten: Für die standardmäßige i.v. Gabe von Flüssigkeit in der Reanimation gibt es keine Empfehlung. Eine klare Indikation ist die Hypovolämie, bei der kristalloide Lösungen (bzw. physiologische Kochsalzlösung) gegenüber den kolloiden Lösungen bevorzugt werden sollten. (5)

Fibrinolyse Therapie: Eine Lyse-Therapie wird nicht standardmäßig empfohlen und sollte nur bei Verdacht auf ein thromboembolisches Ereignis wie Lungenembolie oder thrombotischem Verschluss der Koronararterien durchgeführt werden. Zu beachten ist, dass nach Applikation einer Lyse Therapie die Reanimation zumindest für 60-90 Minuten fortgeführt werden muss. (5)

1.1.5 Reversible Ursachen des HKS:

Der Ausschluss von reversiblen Ursachen des HKS sollte ehest möglich während der Reanimation erfolgen. Zu diesen Ursachen zählen die 4 Hs (**Hypovolämia**, **Hypoxia**, **Hypo/Hyperkalemia**, **Hypo/Hyperthermia**) und die 4Ts (**Tamponade cardiac**, **Tension Pneumothorax**, **Thrombosis pulmonary/coronary**, **Toxins**). Die 4 Ts finden sich analog im deutschsprachigen HITS Akronym (**H**erzbeuteltamponade, **I**ntoxikation, **T**hromboembolie, **S**pannungspneumothorax) wieder. (6, 7)

Einen Algorithmus, wie diese 4Ts (HITS) und 4 Hs strukturiert abgearbeitet werden können, publizierten Durila et al. 2018 (8). Im Folgenden findet sich die deutsche Übersetzung dieser am ABC (DE) Schema orientierten Vorgehensweise:

1. A Atemweg sichern (**Hypoxie**)
2. B Beatmung (symmetrisch beidseits belüftet - **Spannungspneumothorax**)
3. C Kreislauf (sonographische Abarbeitung):
 - Hypovolämie**: sonographisch kollabierte oder schmale Vena cava inferior, endiastolischer Durchmesser des linken Ventrikels unter 35mm)
 - Pulmonalembolie**: dilatierter rechter Ventrikel größer als der linke Ventrikel
 - Koronarthrombose**: Hypokinesien in der Echokardiographie
 - Herzbeuteltamponade**: Flüssigkeit im Perikard
4. Metabolische Ursachen: **Hypo/Hyperkaliämie** und H⁺ Ionen (Azidose)
5. Seltene Ursachen: **Hypothermie/Hyperthermie** und **Intoxikation**

1.1.6 Abbruch der Reanimation:

Die Entscheidung, ob eine Reanimation abgebrochen wird, hängt von zahlreichen individuellen Faktoren ab, die ethischer und/oder medizinischer Natur sind. Im Allgemeinen gilt festzuhalten, dass eine Asystolie für mehr als 20 Minuten bei gleichzeitigem Fehlen von reversiblen Ursachen ein Grund ist, die Reanimationsmaßnahmen einzustellen. (6)

1.1.6.1 Post-Reanimationsversorgung:

Der Hauptfokus der Post-Reanimationsversorgung liegt auf der Stabilisierung des Kreislaufs und der kausalen Therapie des Kreislaufstillstandes bzw. der erweiterten Diagnostik bei unklarer Genese.

Nach endotrachealer Intubation sollten SpO₂ Werte von 94-98% sowie eine Normokapnie angestrebt werden. Zur Überwachung des Kreislaufes gilt die Empfehlung, ein 12-Kanal-EKG abzuleiten sowie eine invasive arterielle Blutdruckmessung zu etablieren. Systolische Blutdruckwerte von über 100 mm Hg (ggf. unter Verwendung von Vasopressoren/positiv inotropen Substanzen) sowie eine Körpertemperatur von 32-36 Grad Celsius stellen Zielwerte dar. Bei klinischem Verdacht auf eine kardiale Ursache bzw. EKG Zeichen einer myokardialen Ischämie sollte eine Koronarangiographie durchgeführt werden. Findet sich in dieser keine Ursache für den Kreislaufstillstand, wird empfohlen eine Computertomographie (CT) des Schädels und/oder eine Kontrast-CT der Lungengefäße durchzuführen. Steht eine neurologische oder respiratorische Verdachtsdiagnose im Vordergrund, wird dementsprechend zuerst die CT des Kopfes oder aber die CT des Thorax durchgeführt. (9)

POST-RESUSCITATION CARE

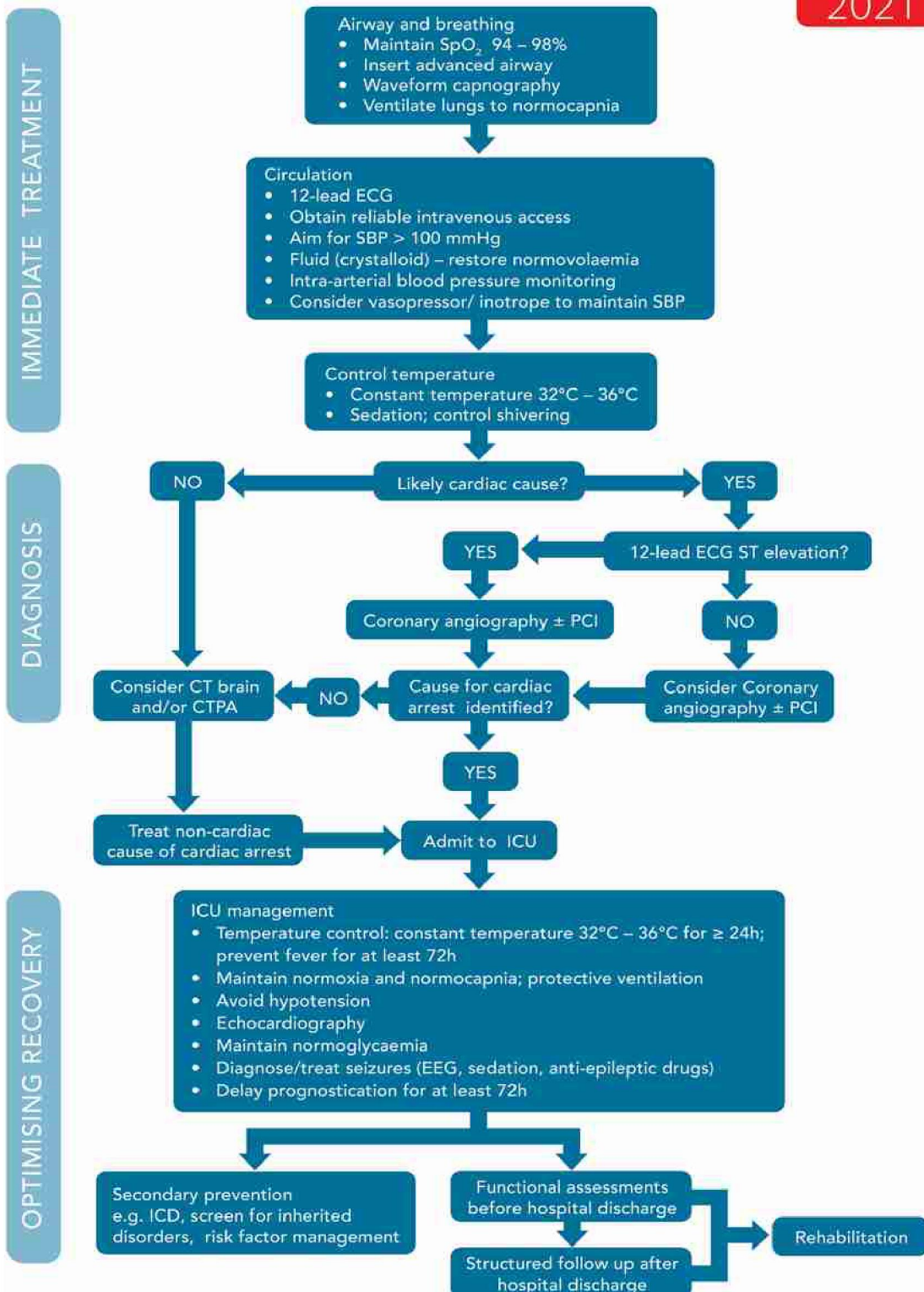


Fig. 2 – Post resuscitation care algorithm.

SBP Systolic blood pressure; PCI Percutaneous coronary intervention; CTPA Computed tomography pulmonary angiogram; ICU Intensive care unit; EEG electroencephalography; ICD implanted cardioverter defibrillator.

Abbildung 2: Post Resuscitation Care ERC 2021 (9)

1.2 Die Kinematik der Thoraxkompressionen und das Auftreten von Reanimations-assoziierten Verletzungen

Dass die 1960 von William B. Kouwenhoven, G. Guy Knickerbocker und James Jude entwickelte Herzdruckmassage neben der überlebenswichtigen Kompression des linken Ventrikels auch zu iatrogenen Verletzungen führen kann, wurde bereits 1974 in einer Übersichtsarbeit von Patterson et al. beschrieben (10). Eine erste größere Autopsie-Studie wurde 1987 von Krischner et al. publiziert. Das folgende Bildzitat gibt einen guten Überblick über die damals erfasste Häufigkeit von Reanimations-assoziierten Verletzungen (11).

Table 1—CPR Complication Rates (%) from Autopsy Series

Author	N	Extrathoracic									
		Thoracic		Lacerated			Embolization			Pneumo- thorax	Hemo- thorax
		Rib Fracture	Sternal Fracture	Gastric Esophageal Laceration	or Ruptured Spleen	or Ruptured Liver	Pulmonary Bone Marrow	Pulmonary Fat			
Baringer et al ⁷	46	33								9	
Clark ⁸	19	58	26		10	21					
Krischer	705	32	21	.1	.3	2.9				2.7	.8
Garvey and Zak ⁴	30							33			
Henrikson ⁹	37	75	22								
Himmelhoch et al ¹⁰	52	46						27	42		
Jackson and Greendyke ¹¹	57	35							81		
Lundberg et al ¹²	50			10							
Paaske et al ¹³	268	44	22							3	
Patterson et al ⁴	235	17	2		.4	1		1		1	
Powner et al ⁵	70	19	9					12			

Abbildung 3: Complications of cardiac resuscitation (11)

Wie groß die während der Herzdruckmassage aufgewendeten Kräfte sind, zeigte sich in einer 2007 von Tomlison et al. durchgeführten Studie: Bei 91 präklinischen Reanimationen wurde ein mit Manometern und Beschleunigungssensoren ausgestattetes Device verwendet, das die auftretenden Kräfte maß. Um eine ausreichende Kompressionstiefe des Thorax zu erreichen, müssen demnach Kräfte von durchschnittlich 30kg pro Kompression aufgebracht werden ($\pm 8.2\text{kg}$). Einflussgrößen auf das Auftreten von Reanimations-assoziierten Verletzungen sind nach Tomlison et al. 2007 unter anderem das Alter, Geschlecht sowie die Anzahl der durchgeführten Thoraxkompressionen bei der zu reanimierenden Personen. (12)

1.2.1 Verletzungen im Kopf- und Halsbereich

Im Hals- und Kopfbereich treten Verletzungen vor allem durch die Intubation oder das Verwenden von Beatmungsmasken und oropharyngealen bzw. nasopharyngealen Atemwegshilfen auf. Beispielsweise werden Zähne beschädigt, es kommt zu Verletzungen/Blutungen der Mund- und Nasenschleimhaut oder aber seltener bei ösophagealer Intubation zur Ruptur des Ösophagus. Blutungen oder Hämatome im Larynx bzw. Pharynx treten vor allem bei multiplen Intubationsversuchen auf. (13, 14)

1.2.2 Verletzungen des Abdomens

Abdominale Verletzungen durch Reanimationsmaßnahmen sind deutlich seltener als thorakale Verletzungen und treten zumeist in Form von Hämatomen durch die Ruptur kleiner Gefäße im Mesocolon und Omentum majus auf. Ein zu tiefer Druckpunkt der Herzdruckmassage über dem Xiphoid kann weiters zu Verletzungen der Oberbauchorgane Milz und Leber (linker Leberlappen) führen. Als weiterer möglicher Mechanismus wird die vermehrte Kraftübertragung auf das Abdomen durch Sternum und Rippenfrakturen, die die Rigidität des Thorax herabsetzen, beschrieben. Durch die Überblähung des Magens bei einer Mund zu Mund- oder Beutel-Masken Beatmung kann es weiters in seltenen Fällen zu einer Magenruptur kommen. (13–15)

1.2.3 Luft und Fettembolien

Systemische Verletzungen werden selten in Form von cerebralen Luftembolien, bei denen es ursächlich zu einer Ruptur von Pulmonalgefäßen mit Lufteintritt in den Blutkreislauf kommt, diagnostiziert. Etwas häufiger sind Fettembolien der Lunge beschrieben. Hypothesen zu ihrem Entstehen vermuten ein Freiwerden von Fett aus während der Herzdruckmassage verformten Rippen. (13, 16)

1.2.4 Verletzungen des Thorax

Der Großteil der Reanimations-assoziierten Verletzungen findet sich im Bereich des knöchernen Thorax und der Lunge. Kardiale Verletzungen sind selten, sie sollen nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden und betreffen vor allem das Perikard (Hämoperikard/Herzbeuteltamponade), den rechten Vorhof (Ruptur) bzw. die Gefäßwände der Koronararterien und die Aorta. Voroperierte Patientinnen und Patienten (z.B. Z.n. Bypass-Operation) scheinen ein höheres Risiko für kardiale Reanimationsverletzungen zu

haben. Hautverletzungen des Thorax finden sich in Form von Abschürfungen durch die Herzdruckmassage bzw. Verbrennungen durch die Defibrillation. (13, 16)

1.2.4.1 Knöcherne Thoraxverletzungen

Knöcherne Thoraxverletzungen (SCI = skeletal chest injuries) betreffen Rippen und Sternumfrakturen und stellen die häufigsten Reanimations-assoziierten Verletzungen dar. In der folgenden Tabelle findet sich ein Überblick über die in den angeführten Studien angegebene Häufigkeiten:

Autoren	Erscheinungsjahr	Methode	N	Rippenfrakturen%	Sternumfrakturen%
Krischer et al.	1987	Autopsie	70 5	31,6	21,1
Rabl et al.	1996	Autopsie	25	28	16
Mauer et al.	1997	Klinische U.	11 4	3,5	-
Baubin et al.	1999	Autopsie	20	55	30
Oschatz et al.	2001	Thorax-Röntgen	59	8	-
Lederer et al.	2004	Thorax-Röntgen	19	32	26
		Autopsie	19	89	32
Black et al.	2004	Autopsie	49 9	29	14
Krajl. et al.	2015	Autopsie	21 48	7,5	5,9
Kashiwagi et al.	2015	CT	22 3	69,9	8
Boland et al.	2015	Thorax-Röntgen	23 5	9	1
Rudinská et al.	2016	Autopsie	80	73,7	66,3
Dunham et al.	2017	CT	39	85	31
Boem et al.	2017*	CT (prä-2010)	43	62,8	30,2
		CT (post-2010)	14 2	78,9	26,8

*Vor und nach den ERC Guideline Änderung 2010 (tiefere Kompressionen bei Herzdruckmassage post- 2010)

Tabelle 1 Häufigkeit von Rippen und Sternumfrakturen

1.2.4.1.1 Lokalisation

Der Großteil der Rippenfrakturen nach durchgeführter Herzdruckmassage tritt anterolateral auf und betrifft die 2.-6. Rippe. Mehrere Studien, die als Diagnostikum die Computertomographie verwendeten, kamen hierbei zu ähnlichen Ergebnissen. (17–19)

Table 2
Numbers and locations of rib and sternal fractures.

Rib number	Right side				Sternal fracture	Left side			
	Para-vertebral	Postero-lateral	Antero-lateral	Para-sternal		Para-sternal	Antero-lateral	Postero-lateral	Para-vertebral
1	0	0	0	0		0	1	0	0
2	0	0	63	7		5	49	0	0
3	1	1	95	7	7	5	89	1	0
4	1	0	107	4	9	2	108	2	0
5	0	1	100	1	2	0	99	1	0
6	0	1	64	0		0	67	0	0
7	0	1	18	0		0	18	2	0
8	0	1	2				3	0	0
9	0	1						1	0
10	0	1						0	0
11	0	1						0	0
12	0								0

Classification and description of rib fractures were performed with reference to a recent study by Schulze et al. ⁶.

Abbildung 4: rib and sternal fractures (19)

Widersprüchlich ist die Datenlage bei der Analyse, welche Thoraxseite häufiger von Rippenfrakturen betroffen ist. Vermehrte linksseitige Rippenfrakturen fanden sich in zwei Studien (14, 20), ein linksseitig deutlich häufiger auftretender Pneumothorax in einer Studie (21). Gegenteiligen Ergebnissen (bzgl. Seite des Pneumothorax) und keinen Seitenunterschied beim Auftreten von gebrochenen Rippen publizierten Kashiwagi et al. 2015 (19). Sternal Frakturen finden sich gehäuft im mittleren bis unteren Sternal Drittel (22, 23).

1.2.4.1.2 Auswirkung der Kompressionstiefe der Herzdruckmassage auf das Auftreten von Rippenfrakturen

Immer wieder wurde die Auswirkung von Änderungen der Drucktiefe und Frequenz einer Herzdruckmassage in den ERC Leitlinien näher untersucht. In den ERC Guidelines 2005, 2010, 2015 wurde eine immer größere Drucktiefe und Frequenz der Herzdruckmassage empfohlen (gleichbleibend in den ERC Leitlinien 2021). Die Auswirkungen dieser

Leitlinien-Änderungen auf die Häufigkeit von Reanimationsverletzungen, insbesondere Rippenfrakturen, wurde von mehreren Autoren untersucht. Zentrale Fragestellung war zumeist, ob bei einer größeren Kompressionstiefe mit besserer Hämodynamik das Auftreten von Serienrippenfrakturen und daraus resultierenden Komplikationen (u.a. Pneumothorax/ Blutung) in Kauf genommen werden soll. Es zeigte sich nämlich eine deutliche Zunahme von Rippenfrakturen bei größerer Kompressionstiefe nach den Leitlinienänderungen 2005 und 2010. (17, 22, 24)

ERC 2005	100/min	4-5cm
ERC 2010	mind. 100/min	mind. 5cm
ERC 2015	100-120/min	5-6cm
ERC 2021	100-120/min	5-6cm

Tabelle 2 Drucktiefe und Frequenz der Herzdruckmassage

Impact of ERC guidelines 2000 (yellow), 2005 (orange) and 2010 (red) on percentage of injured right ribs, sternum and left ribs

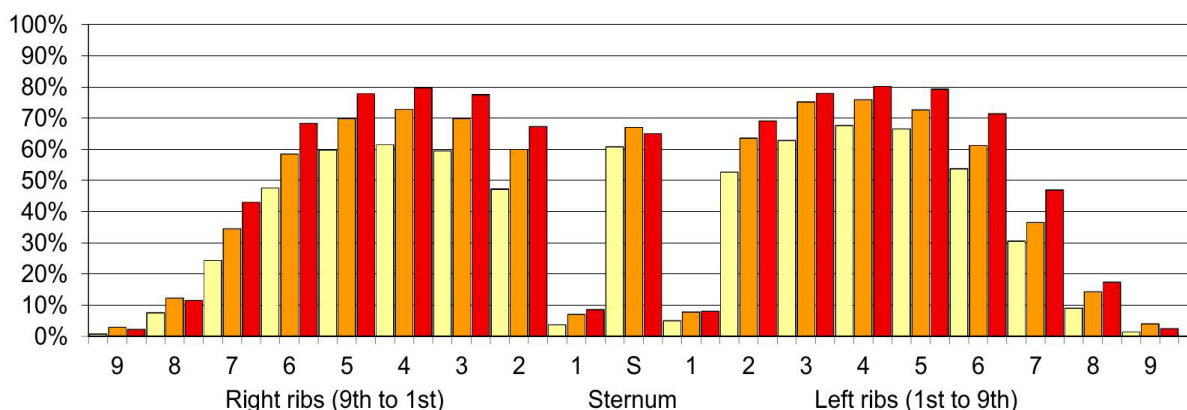


Abbildung 5: ERC Guidelines and SCI (17)

Von Hoke und Chamberlain 2004 wurde das Auftreten von Rippenfrakturen bei rigidem Thorax sogar vorsichtig als Qualitätsmerkmal einer guten Herzdruckmassage angeführt. (25)

1.2.4.1.3 Diagnostik der Rippenfrakturen

Die Computertomographie stellt die zuverlässigste Methode dar, um Rippenfrakturen zu diagnostizieren und ist dem Thorax-Röntgen klar überlegen. So beschreiben Schulze et al. 2013, dass vor allem inkomplette Rippenfrakturen mit intakter äußerer Kortikalis (z. B.

„Buckle rib fracture“), nicht einmal in der Autopsie zuverlässig erkannt werden und eine Computertomographie hier sensitiver ist. (18, 20, 25)

Wenig überraschend treten Rippenfrakturen während der Reanimation häufiger bei älteren Menschen und bei längerer Reanimationsdauer auf. (11, 15)

Die erstmal von Yang et al. 2011 beschrieben „Buckle rib fracture“ stellt eine Sonderform der inkompletten Rippenfraktur nach einer Reanimation dar. Hierbei ist die innere Kortikalis nach außen gewölbt. 95% der inkompletten Frakturen ordnet Yang diesem Typ zu. Lokalisiert ist dieser Typ vor allem bei Teilfrakturen der 7. -9. Rippe im Knochen-Knorpel-Übergang. (26)

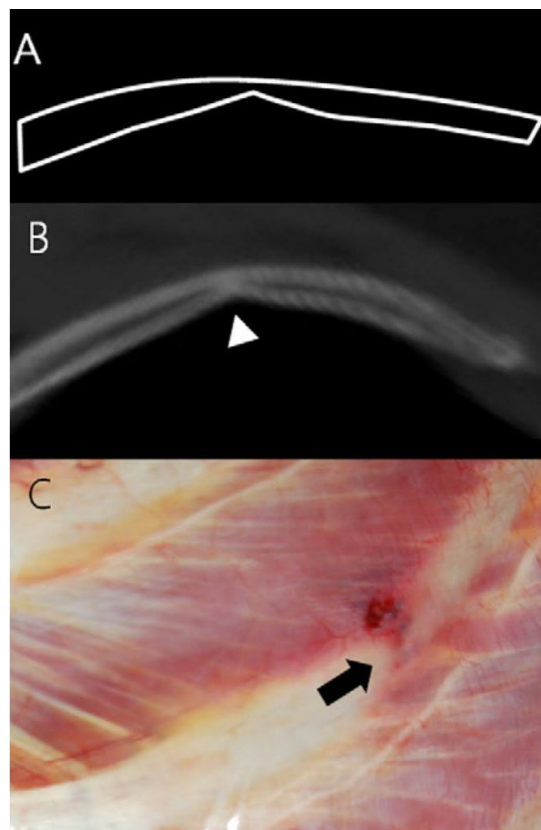


Abbildung 6: Buckle rib fracture (26)

1.2.4.2 Lungenverletzungen

Pulmonale Komplikationen der Reanimation treten vor allem in Form von Aspiration des Mageninhaltes, Lungenkontusionen, Rissen und Blutungen auf (16). In einer 2016 von Rudinska et al. publizierten Autopsie-Studie fanden sich Kontusionen, Risse und Blutungen der Lunge in 41,2% der untersuchten Fälle (23). Weiters stellt der

Pneumothorax (seltener Hämatothorax) eine Reanimations-assoziierte Verletzung dar, die nun ausführlich beschrieben werden soll:

1.3 Der Pneumothorax als Ursache und Komplikation der kardiopulmonalen Reanimation

Die Rolle des Pneumothorax in der Reanimation lässt sich von zwei Seiten betrachten:

Einerseits kann er, durch eine massive Beeinträchtigung der Hämodynamik und Atmung eine reversible Ursache des Herzkreislaufstillstandes sein und findet sich als solche in den Reanimationsleitlinien unter den schon beschriebenen 4 Ts (*Tension pneumothorax, coronary Thrombosis, cardiac Tamponade, pulmonary Thrombosis*) in der englischen Literatur bzw. im deutschsprachigen HITS Akronym (*Herzbeutelamponade, Intoxikation, Thromboembolie, Spannungspneumothorax*) wieder (6). Andererseits kann ein Pneumothorax auch als Komplikation der Reanimationsmaßnahmen auftreten, allen voran der Herzdruckmassage und der Überdruckbeatmung. Ob der Pneumothorax reversible Ursache oder Komplikation ist, lässt sich im Einzelfall häufig nicht sicher differenzieren (27).

1.4 Häufigkeit Literatur

In einer Literaturrecherche finden sich 10 Studien mit Angaben zur Häufigkeit eines Reanimations-assoziierten Pneumothorax. Hierbei handelt es sich um Analysen, die überwiegend reanimationsassoziierte Verletzungen als Hauptzielgrößen untersuchten. Die breit gestreuten Angaben zur Prävalenz des Pneumothorax reicht von 2 bis 26%. Am besten verwertbar scheinen Ergebnisse aus Studien, die die sehr sensitive Computertomographie als Diagnostikum verwenden. So sind niedrige Angaben bei Verwendung des in dieser Fragestellung doch limitierten Thoraxröntgens (siehe Punkt 1.5.2.2.) kritisch zu hinterfragen.

Autoren	Erscheinungsjahr	Methode	N	Pneumothorax in %
Krischer et al.	1987	Autopsie	705	2,7
Kim et al.	2013	CT	71	8,45
Kashiwagi et al.	2015	CT	223	7,62
Boland et al.	2015	Thoraxröntgen	235	2
Kaldirim et al.	2015	Autopsie	203	19,2*
Dunham et al.	2017	CT	39	8
Boem et al.	2017**	CT (prä-2010)	43	9,3
		CT (post-2010)	142	17,6
Betz et al.	2018	CT	234	20,1
Champignuelle et al.	2018***	CT, Sonographie, Thoraxröntgen, Klinische Untersuchung	1310	2,2
Viniol et al.	2020	CT	100	26

*Angabe Pneumothorax links 19,2%, Pneumothorax rechts 5,4%, keine Angabe eines allgemeinen Prozentsatzes aus der Studienpopulation bzw. ob ein bilateraler Pneumothorax als links und rechtsseitiger gewertet wurde. (Kaldirim et al. 2016, 272)

**Vor und nach den ERC Guideline Änderung 2010 (tiefere Kompressionen bei Herzdruckmassage post- 2010)

***Zu beachten: bei nicht allen Reanimierten wurde eine Bildgebung durchgeführt

(11, 15, 19, 21, 22, 28–32)

Tabelle 3 Die Häufigkeit des Pneumothorax in der Literatur

1.5 Der Pneumothorax

1.5.1 Definition

Unabhängig von einer näheren Einteilung oder Ätiologie, lässt sich ein Pneumothorax wie folgt definieren: "Ein Pneumothorax ist eine Luftansammlung jedweder Genese im Pleuraraum, die zur Aufhebung des negativen intrapleurales Drucks mit konsekutivem Kollaps der Lunge führt". (33)

1.5.1.1 Pathogenese

Allgemein betrachtet gibt es zwei mögliche Eintrittswege von Luft in den Pleuraspalt:

Ein möglicher Weg ist ein Luftaustritt von Strukturen der Lunge über die Pleura visceralis in den Pleuraspalt. Diese Pathogenese findet sich beim spontan auftretenden

Pneumothorax, beim Pneumothorax nach stumpfem Trauma mit Verletzung der Lunge bzw. der Trachea, sowie bei Formen des iatrogenen Pneumothorax, beispielsweise beim Anlegen eines ZVK (Zentralvenenkatheter) mit Durchstechen der Lungenkuppeln. Ein weiterer Mechanismus, der im Zusammenhang mit einer durchgeführten Herzdruckmassage (im Grunde ein rezidivierendes stumpfes Thoraxtrauma) besondere Betrachtung findet, ist das Einspießen von frakturierten Rippen in das Lungengewebe, wiederum mit Lufteintritt von der Lunge in den Pleuraspalt. (34) (Nähere Ausführung siehe Punkt 1.6.4)

Der zweite mögliche Weg ist ein Lufteintritt von außen durch die Thoraxwand über die Pleura parietalis in den Pleuraspalt. Diese Pathogenese findet sich unter anderem beim spitzen Thoraxtrauma, beispielsweise nach Messerstichverletzungen.

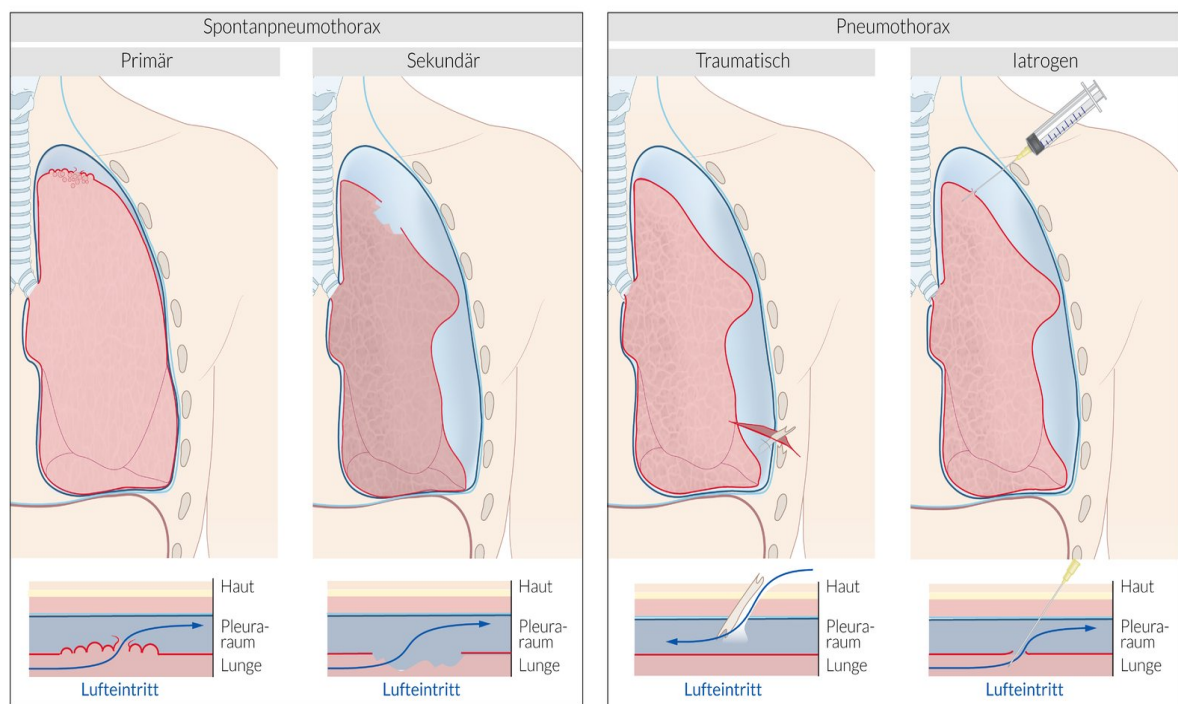


Abbildung 7: Lufteintritt beim Pneumothorax (34)

In der Literatur finden sich unterschiedliche Herangehensweisen, einen Pneumothorax näher zu klassifizieren. So wird beispielsweise nach der Art des Lufteintritts in den Pleuraspalt, zwischen einem offenen (Lufteintritt durch die Thoraxwand über die Pleura parietalis) oder geschlossenen (Lufteintritt von der Lunge durch die Pleura visceralis) Pneumothorax unterschieden. Am gebräuchlichsten ist die ätiologische Einteilung in primären und sekundären Pneumothorax, die hier näher erläutert werden soll.

1.5.1.2 Klassifikation

1.5.1.2.1 Primärer und Sekundärer Pneumothorax

Beim primären Spontanpneumothorax (PSP) handelt es sich um ein Phänomen, das häufig bei jungen, gesunden und großgewachsenen Männern auftritt. Es wird vermutet, dass es ursächlich zu einem Platzen von luftgefüllten Strukturen, sogenannten Blebs oder Bullae, kommt. Bei Blebs handelt es sich um dünnwandige (< 1mm) subpleurale Lufträume mit einer Größe von bis zu 1,5cm im Durchmesser, bei Bullae beträgt dieser Durchmesser mehr als 1,5cm. (1)

In Harrison's Principles of Internal Medicine finden sich Angaben, wonach der primäre Spontanpneumothorax fast ausschließlich bei Raucherinnen und Rauchern auftritt, bei denen eine subklinische Lungenerkrankung vorliegt. Subpleurale Bullae fanden sich bei den im Review von Sahn et al. zitierten Studien in 76-100% der thorakoskopierten Patientinnen und Patienten mit primärem Spontanpneumothorax, in der Computertomographie fanden sich ipsilaterale Bullae bei Nikotinkonsum in 89%, ohne Nikotinkonsum in 81% der Fälle. Oft kommt es in der weiteren Folge zu Rezidiven, die bei in etwa 50% der Patientinnen und Patienten beschrieben werden. (35, 36)

Erkrankung	Ursache
Atemwegs- erkrankungen	Chronic obstructive pulmonary disease (COPD)
	Zystische Fibrose
	Asthma bronchiale
Infektiöse Lungen- erkrankungen	Pneumocystis-carinii-Pneumonie (PCP)
	Nekrotisierende Pneumonien (verursacht durch anaerobe, gramnegative Bakterien oder Staphylokokken)
Interstitielle Lungen- erkrankungen	Sarkoidose
	Idiopathische Lungenfibrose
	Langerhans-Zell-Granulomatose
	Lymphangioliomyomatose
Bindegewebs- erkrankungen	Tuberöse Sklerose
	Rheumatoide Arthritis
	Ankylosierende Spondylitis (Morbus Bechterew)
	Polymyositis und Dermatitis
	Sklerodermie
Tumor- erkrankungen der Lunge	Marfan-Syndrom
	Ehlers-Danlos-Syndrom
	Sarkome
Thorakale Endometriose	Bronchialkarzinome
	Katamenialer Pneumothorax

Abbildung 8: Lungenerkrankungen beim sekundären Pneumothorax (1)

Der sekundäre Spontanpneumothorax (SSP) tritt gehäuft bei älteren Menschen (Altersgipfel bei ca. 65 Jahre) mit den in Abb. 8 gelisteten vorbestehenden Lungenerkrankungen auf. Ursächlich für den Luftaustritt in den Pleuraspalt sind ebenfalls rupturierte subpleurale Strukturen (1). Ein sekundärer Pneumothorax geht im Vergleich zu einem primären Pneumothorax mit einer deutlich höheren Letalität, einem längeren Krankenhausaufenthalt und einer aufgrund von Komorbiditäten erschwerten Therapie einher (37).

Zur Beurteilung, ob ein PSP oder SSP vorliegt, gelten in den S3 Leitlinien 2018 Spontanpneumothorax folgende Kriterien: "Weist der Patient eine Lungenerkrankung in der Vorgeschichte auf, bestanden pulmonale Symptome vor Auftreten des Pneumothorax, zeigt sich eine pathologische Lungenstruktur in der Röntgenübersichtsaufnahme auf der nicht befallenden Seite, oder ist der Patient 45 Jahre und älter bei bestehendem Nikotinabusus, ist ein sekundärer Spontanpneumothorax anzunehmen." (37)

	Primärer Spontanpneumothorax (PSP)	Sekundärer Spontanpneumothorax (SSP)
Anteil aller Spontan-PTX (%)	85	15
Patientenalter (J)	35 ± 18	53 ± 20
Geschlecht (m:w)	76:24	80:20
Zugrundeliegende Lungenerkrankung	Nein	Ja
Klinisches Bild	oft beschwerdefrei	abhängig von Schweregrad der zugrundeliegenden Lungenerkrankung
Begleiterkrankungen	selten	häufig

Abbildung 9: Vergleich PSP und SSP (1)

1.5.1.2.2 Spannungspneumothorax

Eine Sonderform und eine lebensbedrohliche, eine sofortige Therapie erfordernde Komplikation des Pneumothorax ist der Spannungspneumothorax (37). Der Begriff Spannungspneumothorax ist nicht einheitlich definiert. Die klinische Beschreibung spricht bei Vorliegen eines Pneumothorax von dem pfeifenden Entweichen von Luft bei Nadelkompression sowie einer lebensbedrohlichen Störung der Vitalfunktionen. Radiologisch wird der Spannungspneumothorax durch Lungenkollaps, Zwerchfelltieferstand und Mediastinalshift identifiziert. (38)

Alle genannten Aspekte können beim Spannungspneumothorax auftreten. Dem liegt folgende Pathogenese zugrunde: Durch Ausbildung eines Ventilmechanismus, bei dem die Luft in den Pleuraspalt eindringt, jedoch nicht wieder aus diesem entweichen kann, entsteht ein progredienter intrapleuraler Überdruck, der in weiterer Folge zu einer Kompression angrenzender Organe und Gefäße führt. (39)

Klinisch äußert sich eine Spannungspneumothorax durch eine schwere Beeinträchtigung von Respiration und Hämodynamik mit Dyspnoe, Zyanose, Tachykardie und Hypotonie, sowie gestauten Halsvenen als Zeichen eines erhöhten zentralvenösen Drucks durch einen verminderten venösen Rückstrom (ausführlicher siehe Punkt 1.5.2.1). (39)

Wichtige, in den folgenden zwei Thorax-Röntgen-Bildern dargestellte radiologische Zeichen für das Vorliegen eines Spannungspneumothorax sind der Lungenkollaps, der Mediastinalshift nach kontralateral, eine Weitung der interkostalen Räume und ein ipsilateraler Zwerchfelltiefstand.

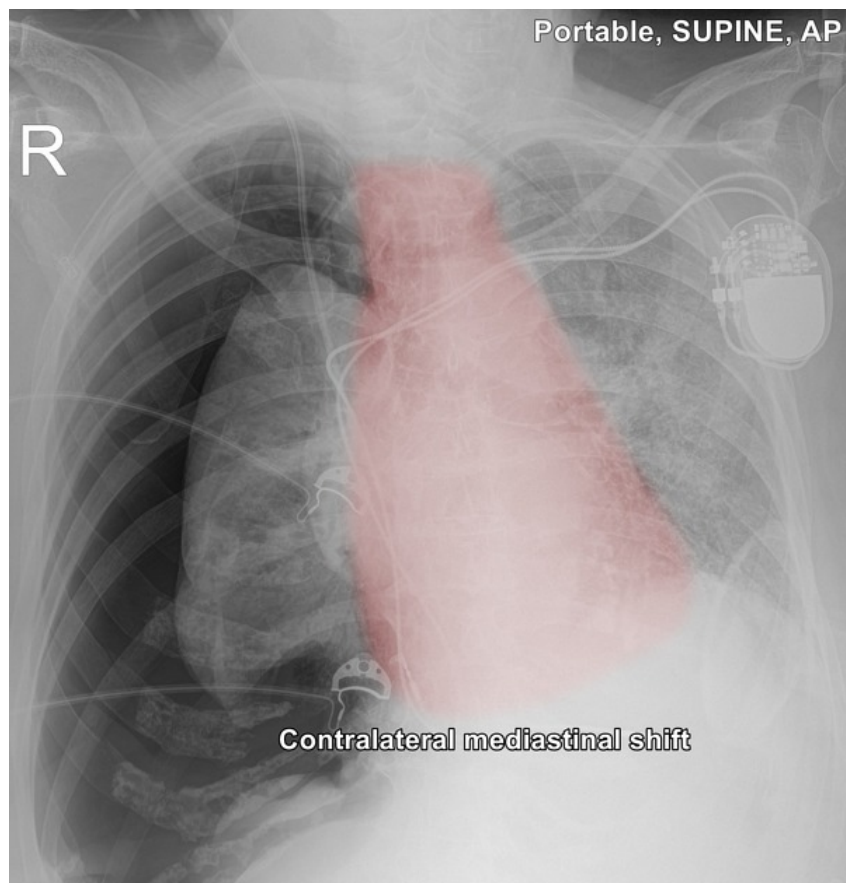


Abbildung 10: Contralateral mediastinal shift in Tensionpneumothorax (38)

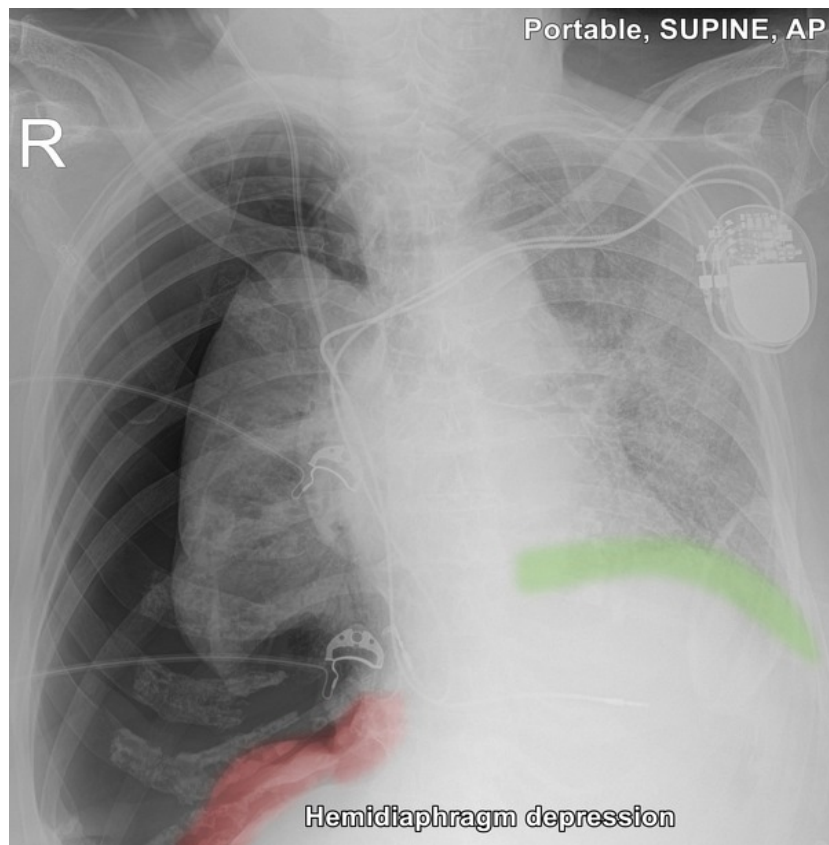


Abbildung 11: Hemidiaphragm depression in Tensionpneumothorax(38)

Dass ein Pneumothorax einen signifikanten Einfluss auf das Überleben von Patientinnen und Patienten hat, zeigt sich bei Betrachtung der Letalität von stationären Behandlungsfällen mit der Hauptdiagnose Spontanpneumothorax. Diese steigt ab dem 45. Lebensjahr linear an und beträgt bei 80-jährigen Patientinnen und Patienten rund 10%. (37)

1.5.1.3 Ausdehnung des Pneumothorax

Auch wenn die Ausdehnung des Pneumothorax als Parameter für die Behandlungsindikation der klinischen Präsentation des Patienten oder der Patientin untergeordnet ist, soll hier eine Möglichkeit zur Berechnung des Volumens vollständigshalber erwähnt werden. So lässt sich das Volumen in % durch Ablesen von Abstand A, B und C aus dem p.a. (posterior – anterior) Thorax-Röntgen mittels der Formel $\% = 4.2 + 4.7 \times (A+B+C)$ errechnen. (37)

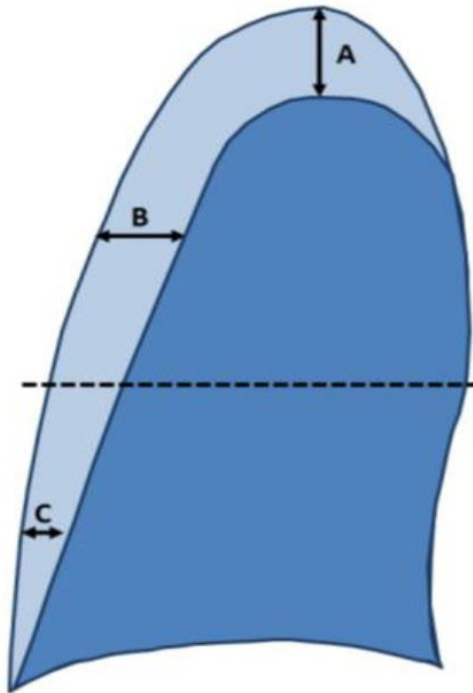


Abbildung 12: Ausdehnung Pneumothorax (35)

1.5.2 Diagnose

1.5.2.1 Klinik

Die Diagnose eines Pneumothorax ist während oder nach einem Kreislaufstillstand klinisch nicht immer leicht zu stellen. So können typische Symptome wie Dyspnoe und plötzlich einsetzender thorakaler Schmerz durch die pleurale Reizung bei beatmeten und narkotisierten Patientinnen und Patienten nicht beurteilt werden. (1, 40)

Die Auskultation der Lunge bietet laut S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung 2016 mit einer Sensitivität von 90% und eine Spezifität von 98% die beste Methode einen größeren Pneumothorax klinisch auszuschließen/zu diagnostizieren. Bei einseitig abgeschwächten Atemgeräuschen sollte nach Bestätigung der richtigen Tubuslage die Verdachtsdiagnose Pneumothorax gestellt werden, bei fehlendem Auskultationsbefund kann ein größerer Pneumothorax weitgehend ausgeschlossen werden (38). An anderer Stelle wird die Sensitivität der Auskultation deutlich niedriger mit 58% angegeben (41). Diese Angaben beziehen sich auf den Pneumothorax, der bei Patientinnen und Patienten mit Thoraxtrauma auftritt. Möglicherweise differieren die Werte beim nicht traumatischem

Pneumothorax, diesbezüglich konnten in der Literatur aber keine klaren Angaben gefunden werden.

Insbesondere für beatmete Patientinnen und Patienten gilt die Empfehlung, bei einer durch Auskultation gestellten Diagnose auch zeitnahe und ohne radiologische Sicherung eine präklinische Dekompression des Pneumothorax durchzuführen, um die Komplikation Spannungspneumothorax zu vermeiden. (38, 40)

Veränderungen der Beatmungsparameter, wie ein Anstieg des Beatmungsdrucks und/oder ein verkleinertes Atemminutenvolumen, gepaart mit einem Abfall der O₂ Sättigung, einem Anstieg des paCO₂ Wertes und zunehmend hypotoner Blutdrucklage, erhärten die Diagnose bzw. geben Hinweis auf eine Progression des Pneumothorax in Richtung Spannungspneumothorax. (1)

Inwieweit ein vorliegendes Weichteilemphysem ein zuverlässiger Hinweis für das Vorliegen eines Pneumothorax ist, kann nicht ausreichend mit aktuellen Daten belegt werden. Ältere Studien gehen von einer Sensitivität von 100% aus, rezente Studien von 12 und 25% beim Nicht-Beatmeten. (38)

Eindeutiger scheint es bei beatmeten Patientinnen und Patienten zu sein: „Ein unter Beatmung zunehmendes Hautemphysem ist ein sicheres Zeichen für eine bronchiale oder parenchymatöse Verletzung der Lunge und praktisch immer mit einem Pneumothorax verbunden.“ (42)

1.5.2.2 Thoraxröntgen

In den ERC Leitlinien 2021 wird in der Postreanimationsphase ein Thoraxröntgen einerseits zur Lagekontrolle von sämtlichen Installationen (Endotrachealtubus, Magensonde, zentraler Venenzugang) empfohlen, andererseits sollten auch reanimationsassoziierte Verletzungen wie relevante Rippenfrakturen und ein Pneumothorax ausgeschlossen werden. (9)

Die deutsche Gesellschaft für Thoraxchirurgie beschreibt in den S3 Leitlinien 2018 die Limitationen des Thorax-Röntgens anterior-posterior (a.p.) im Liegen. Vor allem bei subpulmonaler und ventraler (anteriorer) Lokalisation des Pneumothorax ist die Sensitivität dieser Aufnahme herabgesetzt und es wird empfohlen zusätzlich ein CT-Thorax durchzuführen. (37)

Dass das Thorax-Röntgen in liegender Position (supine position) nicht sehr sensitiv ist, wurde in mehreren Studien nachgewiesen. Der im Thorax-Röntgen nicht erkannte Pneumothorax (occulter Pneumothorax) wird teilweise nach stumpfem Trauma mit einer Prävalenz von bis zu 70% beschrieben. Häufig befindet sich der nicht erkannte Pneumothorax in anteriorer Lokalisation (69 %). (43–46)

1.5.2.3 Sonographie

Die Notfallsonographie wie auch die Lungensonographie insgesamt sind in den letzten Jahren immer intensiver beforscht worden und entwickeln sich auch in technischer Hinsicht rasch. Auch wenn in den S3 Polytrauma Leitlinien 2016 der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) kein Expertenkonsens für die präklinische Verwendung des Ultraschalls zur Diagnose eines Pneumothorax vorhanden ist, wird in den S3 Leitlinien Spontanpneumothorax und postinterventioneller Pneumothorax 2017 der Deutschen Gesellschaft für Thoraxchirurgie (DGT) der Ultraschall als Alternative zum Thorax-Röntgen bei geschultem Anwender empfohlen (Empfehlungsgrad B und Evidenzgrad 2). (37, 38)

Fünf wesentliche Punkte bilden das Grundgerüst der sonographischen Pneumothorax-Diagnostik, von denen manche pathognomonisch sind, andere jedoch Differenzialdiagnosen zulassen:

1. vorhandener Lungenpunkt
2. fehlendes Pleuragleiten
3. fehlender Lungenpuls
4. fehlende B-Linien
5. horizontale Reverberationen (A-Linien)

(47)

Der Lungenpunkt stellt die Grenzzone eines Pneumothorax dar und ist pathognomonisch. Die noch an der Pleura haftende Lunge schiebt sich hier synchron mit den Atemzügen oder der Beatmungsfrequenz in das Schallfenster (48). Die Spezifität des Lungenpunktes liegt bei 100%, seine Sensitivität ist sehr variabel, abhängig vom Untersuchungsprotokoll und der Ausdehnung des Pneumothorax (49).

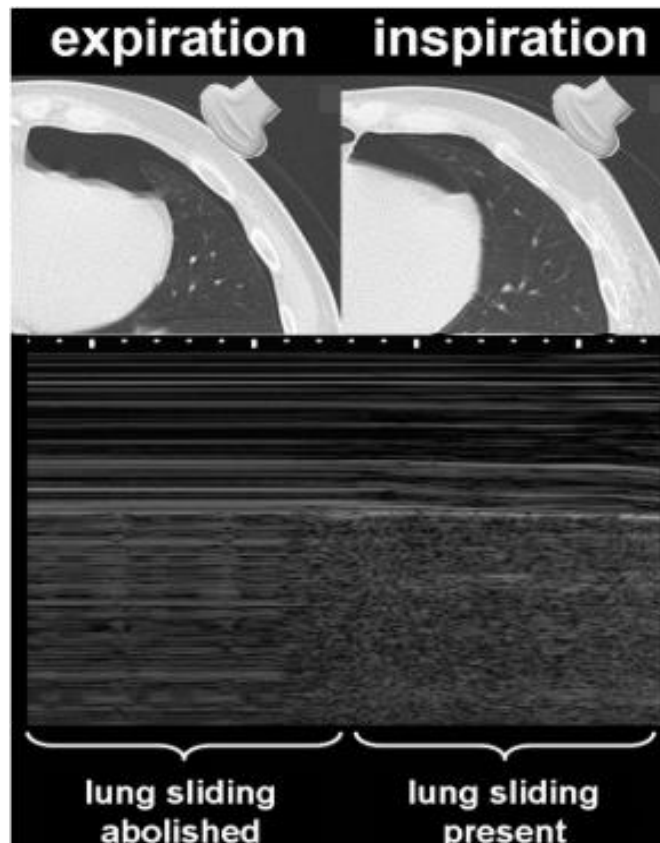


Abbildung 13 Lung Sliding in Ultrasound (50)

Bei nicht vorhandenem Pleuragleiten, wie es z. B. im Bereich des Pneumothorax oder auch bei zu tiefer Intubation in den (rechten) Hauptbronchus an der ganzen Pleura eines Lungenflügels auftreten kann, lässt sich sonographisch im M-Mode das „Barcode-Sign“ oder „Stratosphärenzeichen“ nachweisen. Bei normaler Pleurabewegung wird das entstehende Muster als „Seashore-Sign“ beschrieben bzw. im B-Mode ein Pleuragleiten beobachtet („Ameisenlaufen“). (48)

Als Lungenpuls wird eine zum Herzschlag synchrone Bewegung der Lunge bezeichnet, die vertikal Richtung Schallkopf auftritt. Beim Pneumothorax kann dieser Lungenpuls nicht dargestellt werden. Vor allem bei nicht vorhandenem Pleuragleiten (Barcode-Sign) ermöglicht der Lungenpuls, der auch bei einseitiger Intubation und großen Atelektasen vorhanden ist, einen Pneumothorax-Ausschluss. (51)

B-Linien entstehen an der viszeralen Pleura durch wechselnde Schallimpedanz, meist durch mit Luft oder Flüssigkeit gefüllte Lungenstrukturen. Diese Impedanzunterschiede führen zu Schallartefakten, die sich strahlenförmig von der Pleura ausgehend im Ultraschallbild darstellen. Das Vorhandensein von B- Linien schließt einen Pneumothorax nahezu sicher aus. (48)

Reverberationsartefakte (A- Linien) treten auf, wenn sich direkt unter der Pleura ein mit Luft gefüllter Raum befindet. Der Abstand dieser sich als horizontale Linien darstellenden Schallartefakte entspricht dem Abstand des Schallkopfes zur Pleura. Für die Diagnose eines Pneumothorax sind Reverberationsartefakte nur bedingt geeignet, weil sie auch bei an COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease) Erkrankten mit Lungenemphysemen und ohne wesentlichen Krankheitswert auftreten. (48)

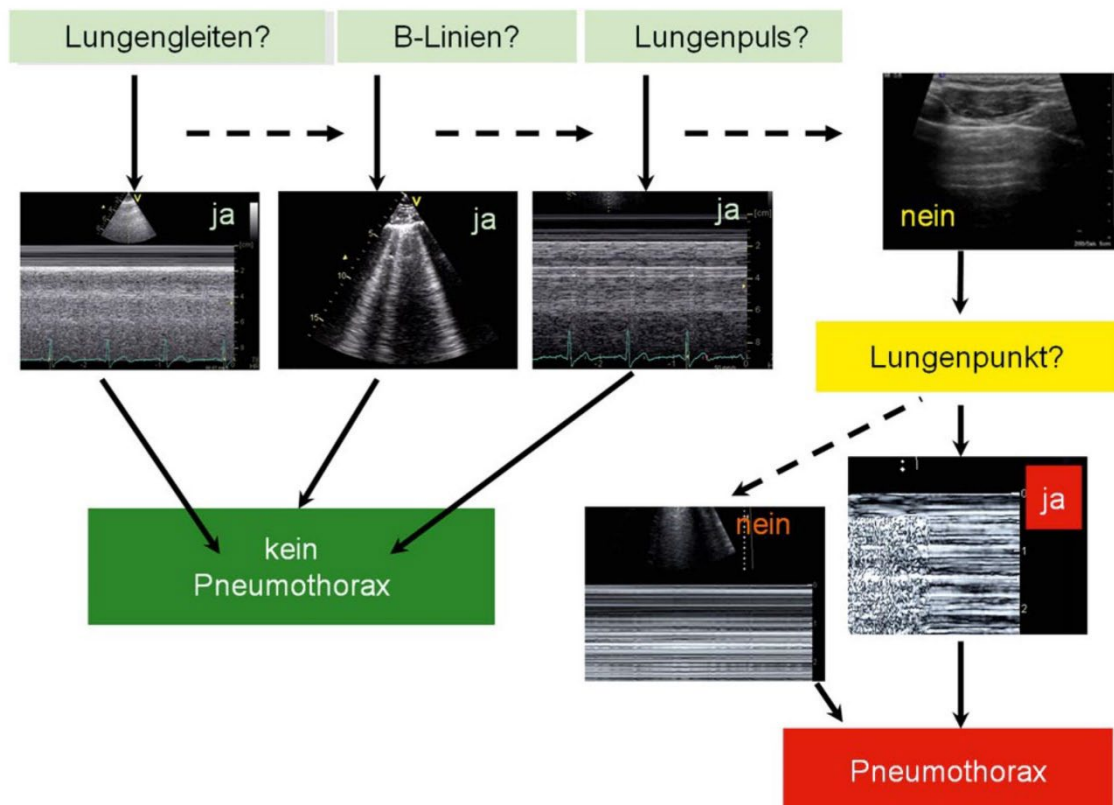


Abbildung 14: Lungensonographie(45)

Auswahl des Schallkopfes und Schallortes:

Bei einer allgemeinen schnellen Untersuchung im Rahmen des eFAST (extended Focused Assessment with Sonography for Trauma) kann bei Zeitmangel der konvexe Schallkopf herangezogen werden. Beim eFAST handelt es sich um ein schnell durchführbares Ultraschallprotokoll einerseits zum Nachweis von freier Flüssigkeit im Bauchraum und im Recessus costodiaphragmaticus und andererseits zum Ausschluss eines Pneumothorax. In einer Akutsituation ist es nicht immer möglich, vom zur Beurteilung des Abdomens verwendeten konvexen Schallkopf auf einen Linearschallkopf zu wechseln, generell ist dies jedoch sinnvoller, da durch die bessere Auflösung eine genauere Beurteilung der

Pleura möglich ist und somit die Sensitivität bei der Beurteilung des Lungengleitens höher ist. (48, 52)

Volpicelli 2011 empfiehlt bei Patientinnen und Patienten im Kreislaufstillstand die punktuelle sonographische Kontrolle am höchsten anterioren Thorax-Punkt. Ein Durchschallen sämtlicher Thorax Quadranten ist nicht nötig, da sich die freie Luft in der Regel am höchsten Punkt ansammelt. Bei der Abwesenheit von B Linien und Lungengleiten sollte gleich eine Thoraxdrainage gesetzt werden. (51)

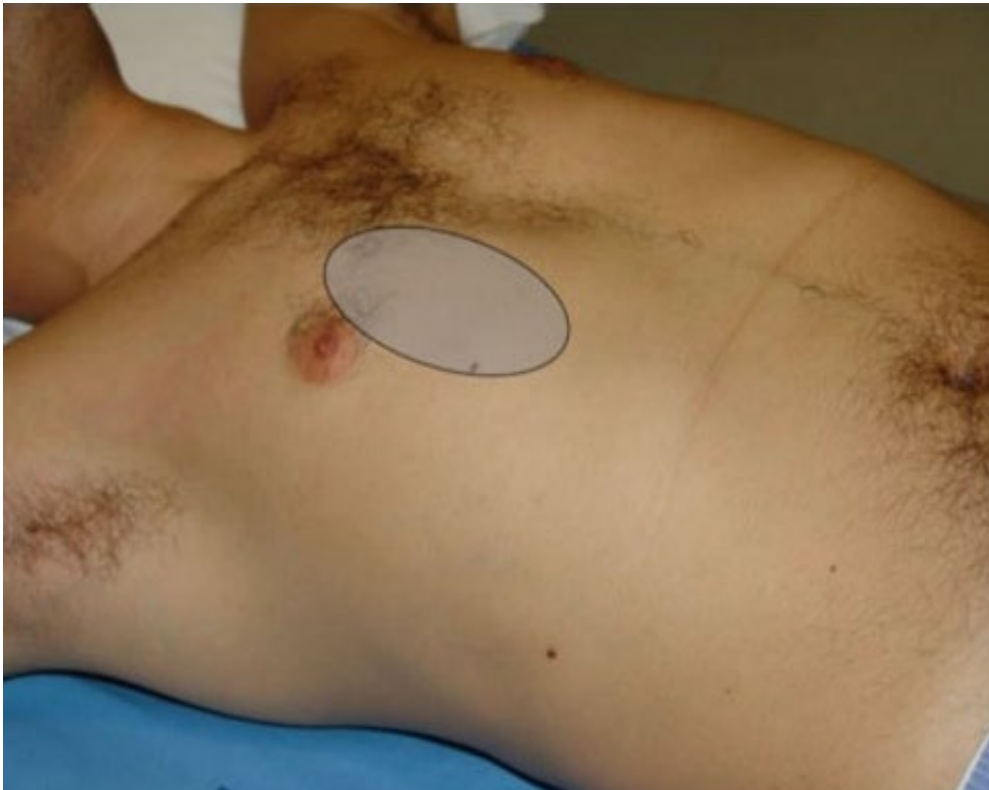


Abbildung 15: Position des Schallkopfes (48)

Wird eine genauere Untersuchung durchgeführt (z.B. bei Verdacht auf kleinen Pneumothorax oder sonstige Lungenpathologien), sollte die Einteilung der beide Thoraxhälften in jeweils zwei anteriore und zwei laterale Quadranten erfolgen und anschließend alle acht Quadranten im Seitenvergleich sonographiert werden. (48)

Limitationen:

Wie bei jeder anderen diagnostischen Methode sind Aussagekraft und Qualität der Sonographie vom theoretischen Wissen und der praktischen Handhabung des Anwenders abhängig. (52)

Die größten Limitationen bei der Lungensonographie sind das Vorliegen eines Weichteilemphysems, ausgeprägte Adipositas, pleurale Verwachsungen sowie subpleurale Bullae. Genannte Faktoren führen zu einer deutlichen Einschränkung der Schallqualität. (37)

Wie ein extrathorakales Weichteilemphysem die sonographische Diagnose eines Pneumothorax erheblich erschweren bzw. auch zu Fehlinterpretationen führen kann, zeigte Volpicelli in seiner 2011 erschienen Arbeit. Sinngemäß geht er aber auch davon aus, dass ein Weichteilemphysem typischerweise mit einem Pneumothorax korreliert und die Diagnose Pneumothorax trotzdem gestellt werden kann. (53)

Abbildung 16: Artefakte können hier fälschlicherweise zu einem Ausschluss eines Pneumothorax führen. Diese, die B-Linien imitierende Artefakte gehen aber nicht von der Pleura, sondern von extrathorakalen Lufteinschlüssen aus.

Abbildung 17: Bei der mit dem Pfeil markierten Struktur handelt es sich nicht um die Pleuralinie, sondern um hyperechogene extrathorakale Strukturen.



Abbildung 16: B-Lines (50)

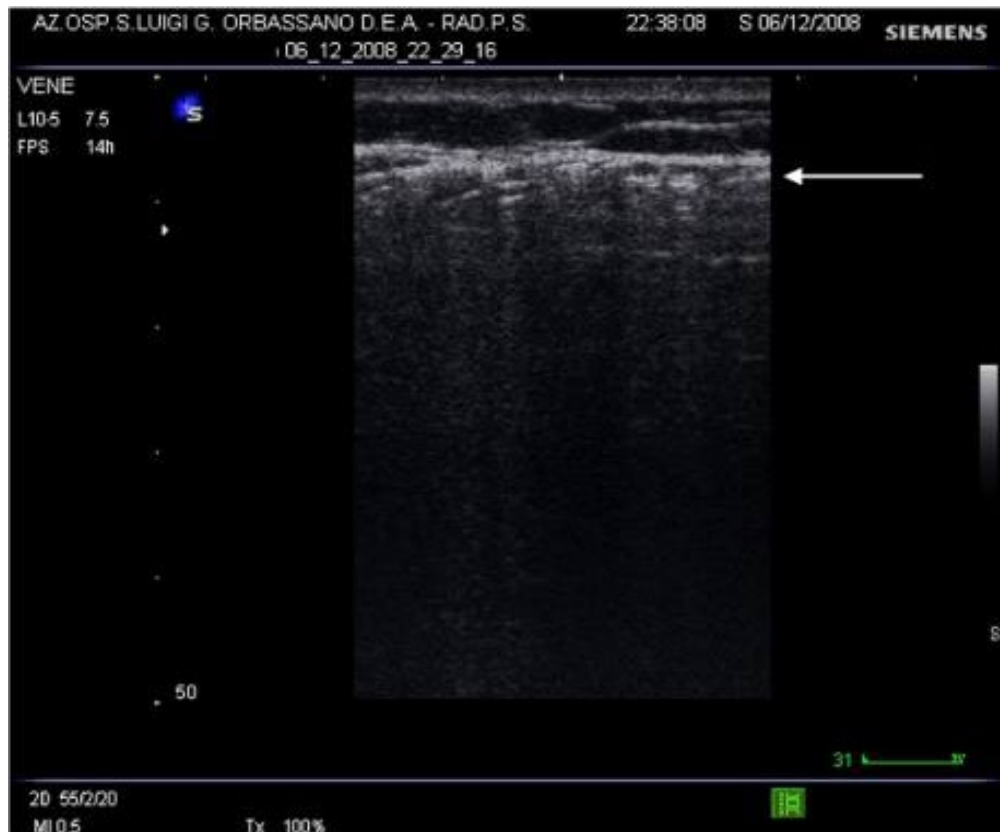


Abbildung 17: hyperechogene extrathorakale Strukturen (53)

Vorteile:

Dass die Sonographie als Diagnostikum dem Thorax-Röntgen überlegen ist, wurde in mehreren Studien belegt. So z. B. in der von Saadah Alrajab et al. durchgeführten Metaanalyse von 13 Studien, in der gezeigt werden konnte, dass die Sensitivität des Ultraschalls beim Erkennen eines Pneumothorax gegenüber dem Thorax-Röntgens deutlich höher ist. (78,6% vs. 39,8%) Bei den in diese Metaanalyse eingeschlossenen Fällen handelte es sich allerdings größtenteils um Patientinnen und Patienten nach einem Trauma. (52) Die geschilderten Erkenntnisse fließen auch in die S3 Polytrauma Leitlinien 2016 und in die ERC Leitlinien 2021 ein. (5, 38, 40)

Ein weiterer Vorteil des Ultraschalls gegenüber dem Röntgen und der CT ist seine schnelle Anwendung ohne Strahlenbelastung und die minimale Manipulation an der Patientin oder dem Patienten (kein Umlagern bei instabiler Kreislaufsituation, kein Transport zur CT). Durch hochmobile Hand-held-Devices ist der Ultraschall sowohl klinisch als auch präklinisch sehr breit und zuverlässig anwendbar.

1.5.2.4 CT

Die Thorax-CT wird als Goldstandard für die Diagnose eines Pneumothorax angesehen und ist in ihrer Sensitivität sowohl dem Thorax-Röntgen und auch der Sonographie deutlich überlegen. Vor allem bei unklaren Befunden, einem vorliegenden Weichteilemphysem, einer Lungenerkrankung sowie bei fortgeschrittenem Lebensalter der Patientin/des Patienten wird die Durchführung einer Thorax-CT empfohlen. (37)

In der Literatur wird die Häufigkeit eines Pneumothorax nach Reanimation mit rund 10% angegeben. Sämtliche Studien, die eine CT zur Sicherung der Diagnose anwendeten, zeigten im Unterschied zu jenen Arbeiten, die lediglich auf Diagnostik mittels Thorax-Röntgen basieren, Prävalenzen von über 20%. (30, 32)

1.5.3 Behandlung

1.5.3.1 Indikation

Die sofortige Entlastung eines Pneumothorax sollte schon präklinisch und ohne radiologische Sicherung erfolgen, wenn aufgrund von klinischen Zeichen ein Spannungspneumothorax vermutet wird. Diese wären beispielsweise die Befunde der Auskultation, ein subkutanes Emphysem und/oder eine anhaltende, massive Beeinträchtigung der Hämodynamik (siehe Punkt 1.5.1.2.2). (40)

Im Fall eines durch Auskultation diagnostizierten Pneumothorax ist bei gleichzeitiger Überdruckbeatmung ebenfalls ehestmöglich eine Entlastung durchzuführen, da die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung eines Spannungspneumothorax unter Beatmung deutlich größer ist als beim Nicht-Beatmeten (siehe Punkt 1.6.3). (38, 38)

1.5.3.2 Auswahl der Punktionsmethode

Auch wenn bei der Auswahl der Entlastungsmethode in der S3 Leitlinie Polytrauma 2016 die Nadeldekompression als primäre Versorgung des lebensbedrohlichen Spannungspneumothorax empfohlen wird, zeigen neuere Studien, dass diese in ihrer Effizienz und Sicherheit der chirurgischen Dekompression unterlegen ist (38, 54, 55). Die S3 Leitlinie argumentiert die Empfehlung unter anderem mit der schnelleren und einfacheren Durchführbarkeit der Nadeldekompression im Vergleich zur chirurgischen Dekompression, spricht sich jedoch auch klar für die ehestmögliche anschließende Versorgung mittels Thoraxdrainage aus. Bei adipösen Patientinnen und Patienten sollte

primär bzw. nach einmaliger frustraner Nadelpunktion eine chirurgische Dekompression des Pneumothorax durchgeführt werden (38).

1.5.3.3 Durchführung

1.5.3.3.1 Minithoracotomie und Drainage

Im Allgemeinen sollte die Thorakotomie unter möglichst sterilen Verhältnissen und bei nicht bewusstlosen Patientinnen und Patienten nach vorheriger Lokalanästhesie durchgeführt werden. Als Punktionsort wird entweder der 4.-6. Interkostalraum in der vorderen bis mittleren Axillarlinie (nicht unter der Mamillenebene) für die zu präferierende großlumige Bülau-Trainage, oder der 2.-3. Interkostalraum in der mittleren Klavikularlinie (jedenfalls nicht medial der Medioklavikularlinie) für die kleinlumige Entlastung nach Monaldi, empfohlen. (38)

Die Präparation/Punktion sollte stets am Oberrand der unteren Rippe verlaufen, um die subkostal laufenden Interkostalgefäße und -nerven zu schonen. Die zu setzende Drainage sollte in der Bülau-Position einen Durchmesser von 28-32 Chr. aufweisen, im Notfall kann auch ein Endotrachealtubus als Drain verwendet werden. (39)

Nach Indikationsstellung und der Auswahl des Interkostalraumes wird in steriler Technik eine horizontale, ca. 4cm lange Hautinzision gesetzt. Anschließend erfolgt die stumpfe Präparation der Subcutis und Interkostalmuskulatur, beispielweise durch spreizende Bewegungen mit einer Schere. Ist der Pleuraraum erreicht, wird entlang der Schere steril ein Finger in den Pleuraraum eingeführt und es werden mit einer drehenden Bewegung mögliche Adhäsionen gelöst. Sollte aufgrund von mangelnden Ressourcen (Zeit/Personal) keine sofortige Platzierung einer Thoraxdrainage durchgeführt werden, wird die Wunde steril bedeckt und die Kompresse/Folie an einer Seite unverklebt gelassen, um einen Ventileffekt zu erzielen. Wird ein Drain eingelegt, kann dieser entweder unter Schienung mit einem Finger oder mit einer Pinzette eingeführt werden. Manche Autoren empfehlen bei Einführung des Drains beim Beatmeten ein kurzes Aussetzen der Beatmung, um Verletzungen des sich bei Inspiration ausdehnenden Lungenparenchyms zu vermeiden. Anschließend wird das Drain mittels Pflaster oder Naht fixiert. Zu bedenken ist hier das erhöhte Infektionsrisiko mit in der Folge potenziell auftretendem Pleuraempyem. (38)

Bezüglich der alleinigen präklinische Minithorakotomie ohne Drainage zeigt sich in einer prospektiven Studie mit intubierten Schwerverletzten nach Trauma, dass die Komplikation

eines erneuten Spannungspneumothorax in keinem der 55 untersuchten Fälle auftrat (56). Spätestens innerklinisch sollte jedoch die Einlage einer Pleuradrainage über die Minithorakotomie erfolgen (38). Die ERC Leitlinien 2021 sprechen sich dafür aus, bei vorhandener Expertise ehestmöglich eine Thoraxdrainage zu setzen (5).

Komplikationen:

Mit einer Erfolgsrate von 79-95% stellt die Verwendung einer Thoraxdrainage die wirksamste Methode zur Entlastung und endgültigen Versorgung eines Pneumothorax dar. In der Literatur werden Versagensraten von durchschnittlich 11% angegeben. Häufige Komplikationen sind diverse Fehllagen (subkutan, intraabdominell, intrapulmonal, retroperitoneal). Es ist bemerkenswert, dass Infektionen bei präklinischer Thoraxdrainage seltener auftreten als bei innerklinisch gelegten Thoraxdrainage. Weitere mögliche Komplikationen sind Gefäßverletzungen, allen voran von interkostalen Gefäßen, seltener der Arteria subclavia und von Herzstrukturen. (38)

1.5.3.3.2 Nadeldekompression

Die Nadelkompression stellt eine Alternative zur chirurgischen Dekompression dar, es ist jedoch anzumerken, dass die Effizienz und Sicherheit dieser Methode in der Literatur sehr kritisch hinterfragt wird. Bei einer Versagensrate von bis zu 80% wird so von Kaserer et al. bereits präklinisch zur primär chirurgischen Versorgung mittels Thoraxdrainage geraten. (55)

Auch wenn die S3 Polytrauma Leitlinie 2016 sowohl den 2. oder 3. Intercostalraum in der Medioclavicularlinie als auch den 5. Intercostalraum in der vorderen bzw. mittleren Axillarlinie als möglichen Punktionsort für die Nadeldekompression beschreibt, wird aus Gründen der Sicherheit in einer rezenten Studie nur noch der 5. Intercostalraum in der vorderen Axillarlinie zur Punktion empfohlen. (38, 54)

Nach korrekter Auswahl des Punktionsortes sollte die gewählte Kanüle senkrecht unter Aspiration in den Pleuraspalt eingeführt werden. Wird Luft aspiriert, kann von einer erfolgreichen Punktion ausgegangen werden. Der Stahlmandrin sollte in der Kanüle belassen werden, um ein Abknicken derselben zu verhindern. Manche Autoren sprechen sich auch für das Zurückziehen des Mandrins um wenige Millimeter aus, in erster Linie, um Lungenstrukturen zu schonen. (38)

Für die Punktion ist ein möglichst großer Nadeldurchmesser zu wählen. In Bezug auf die Nadellänge findet man jedoch kontroverse Angaben (38). Eine Studie von Chang et al. 2014 untersuchte vergleichend die Erfolgsraten von 5cm- und 8cm-Nadeln an den beiden empfohlenen Lokalisationen und zeigte bei Verwendung der 8cm Nadellänge eine durchschnittliche Dekompression bei 96%, bei der 5cm-Nadel von 66-81% der zu Punktierenden. Beschrieben wird des Weiteren bei Verwendung der 8cm- Nadel die mögliche Verletzung von vitalen Strukturen, allen voran des linken Ventrikels, die bei streng senkrechter Nadelführung vermieden werden kann. (57)

Die amerikanische Metaanalyse von Clemency et al. 2015 untersuchte die bei der Nadeldekompression verwendete Nadellänge und kam zum Schluss, dass die verwendete Nadel zumindest 6,44 cm lang sein sollte, um bei 95% der Patient den Pleuraraum zu erreichen (58). Die Länge der konventionellen grauen Venenverweilkanüle beträgt 50mm, die der grünen Venenverweilkanüle nur 45mm. So besteht einerseits bei Verwendung längerer Nadeln das Risiko das Herz und große thorakale Gefäße zu verletzen, auf der anderen Seite bei Verwendung von kürzeren Nadeln bzw. von Venenverweilkanülen das Risiko einer insuffizienten Versorgung mit einem Rezidivpneumothorax.

Einheitlich spricht sich die Literatur dafür aus nach erfolgter Nadeldekompression ehestmöglich die chirurgische Dekompression durchzuführen. (38, 54, 55)

1.6 Prädisponierende Faktoren und Ursachen für das Auftreten eines Pneumothorax unter Reanimation

1.6.1 Geschlecht und Alter

Schon Peres et al. untersuchten in ihrer 1999 publizierten Studie den geschlechterspezifischen Outcome nach einem präklinischen Herzkreislaufstillstand. In den erfassten Daten zeigten sich deutliche Unterschiede in der Geschlechterverteilung (m:w = 3:1) und im Alter (Patientinnen waren im Schnitt 4 Jahre älter als die Patienten) der Reanimierten. Ähnliche Verhältnisse finden sich im Großteil der folgend zitierten Studien (17, 28, 31, 59, 60). Aus diesem Grund lassen sich die Parameter Geschlecht und Alter zumeist nicht getrennt betrachten. (61)

Es gibt mit Stand Mai 2020 keine Studien, die sich mit dem genderspezifischen Auftreten eines Pneumothorax nach Reanimation befassen. Es scheint aber denkbar, Rückschlüsse aus den Studien zu ziehen, die das alters- und geschlechtsspezifische Auftreten von

Rippenfrakturen und sonstigen Reanimations-assoziierten Verletzungen untersuchten, bzw. die sich mit dem Auftreten des sekundären Pneumothorax beim nicht Reanimierten befassen.

In der Literatur wird sowohl für den primären als auch für den sekundären Pneumothorax eine höhere männliche Inzidenz beschrieben. Die Geschlechterverteilung verhält sich ähnlich wie bei Perers et al. 1999 (m:w = 3:1). (59)

In vielen Studien wurde eine Korrelation von Reanimations-assoziierten Verletzungen (allen voran Rippenfrakturen) mit dem weiblichen Geschlecht und einem höheren Lebensalter nachgewiesen. Black et al. 2004 nennt als mögliche Ursache für das gehäufte Auftreten von knöchernen Thoraxverletzungen Unterschiede in der Anatomie des weiblichen Thorax und das häufigere Auftreten von Osteoporose beim weiblichen Geschlecht. (19, 28, 31, 60)

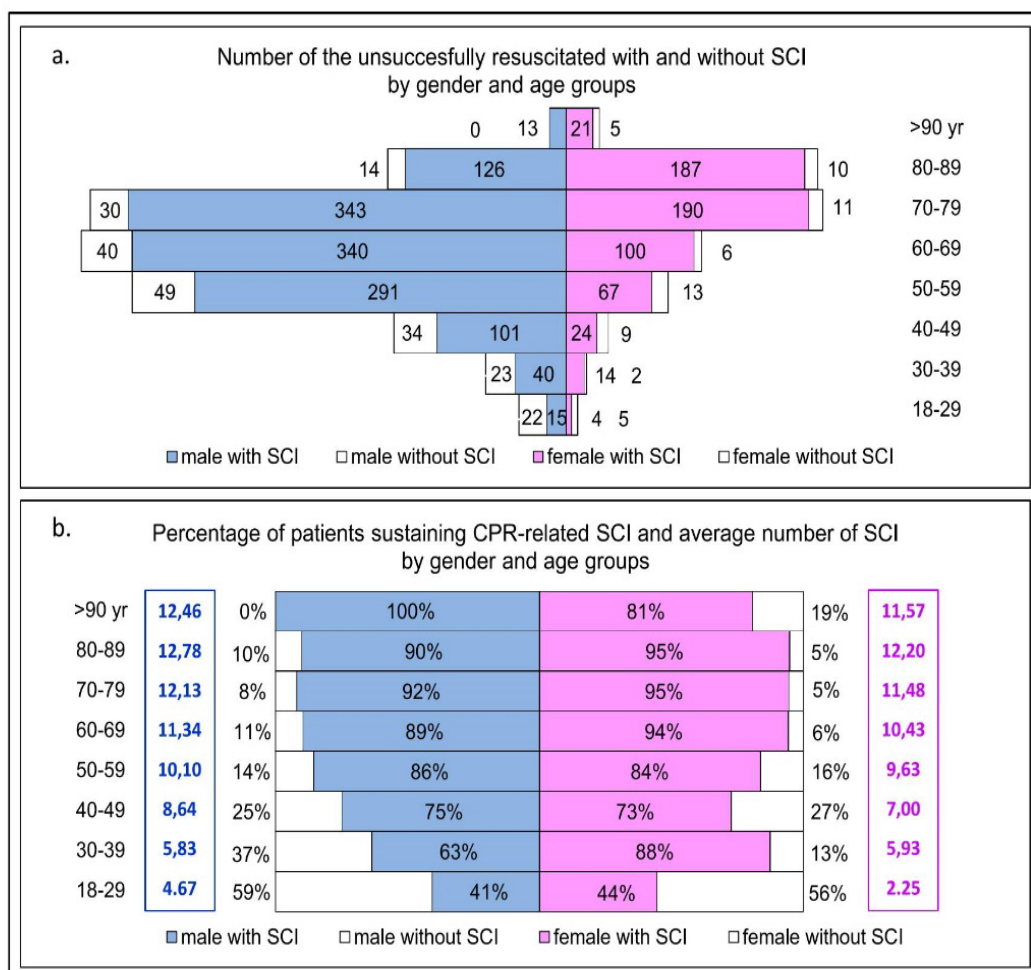


Abbildung 18: SCI (14)

Zu anderen Ergebnissen kamen Oya et al. 2016 und auch Kralj et al. 2015. In ihren Studien wird kein signifikanter genderspezifischer Unterschied im Auftreten von SCI (Skeletal

Chest Injuries = Rippenfrakturen und Sternumfrakturen) beschrieben. Ein höheres Lebensalter korrelierte aber auch hier mit einer größeren Zahl an SCI. (17, 62)

1.6.2 Erkrankungen der Lunge

Erkrankungen der Lunge und Pleura begünstigen das Auftreten eines Pneumothorax maßgeblich. Wie schon bei der Definition des sekundären Pneumothorax angeführt, können als Ursachen das Vorliegen verschiedenster interstitieller, obstruktiver oder entzündlicher Erkrankungen genannt werden.

Obstruktive Lungenerkrankungen	COPD / Emphysem ^[7, 14-16]
	Zystische Fibrose ^[17]
	Schweres Asthma ^[18]
Infektionen	Pneumocystis jiroveci Pneumonie ^[19, 20]
	Tuberkulose ^[7, 21]
	Nicht-tuberkulöse Mykobakteriose ^[22]
	Abszedierende Pneumonie
Interstitielle Lungenerkrankungen	Fibrosierende Lungenerkrankungen ^[7, 15, 16]
	Zystische Lungenerkrankungen: <ul style="list-style-type: none"> - Langerhanszell-Granulomatose ^[23] - Lymphangioliomyomatose (LAM) ^[24] - Birt-Hogg-Dubé- Syndrom ^[25, 26]
	Sarkoidose ^[27]
Maligne Erkrankungen	Lungenkarzinom ^[7, 28]
	Sekundäre maligne Neoplasien der Lunge ^[29]

Abbildung 19: SSP und die Erkrankungen der Lunge (35)

Plausibel ist die Annahme, dass es im Zuge der Herzdruckmassage nach Ruptur von vorgeschädigte Lungenstrukturen (z.B. Bullae) zum Austritt von Luft in den Pleuraspalt kommt. Bei Patientinnen und Patienten mit obstruktiven und interstitiellen Lungenerkrankungen (=ILD), die häufig auch bullöse Lungenveränderungen aufweisen, scheint ein Pneumothorax, wie Betz et al. 2018 zeigten, signifikant häufiger aufzutreten: 42% der Patientinnen und Patienten mit Pneumothorax nach Reanimation litten an COPD und 17% an einer interstitiellen Lungenerkrankung. (30)

Die Hypothese, dass Bullae ein großer Risikofaktor für das Auftreten eines Pneumothorax darstellen, wird indirekt auch dadurch unterstützt, dass beim primären Spontanpneumothorax bei thorakoskopischer Untersuchung bzw. mittels CT in bis zu 90% der Fälle Bullae nachgewiesen werden konnten. (63, 64)

Auch Asthmatikerinnen und Asthmatiker tendieren häufiger dazu, unter Reanimation einen Pneumothorax zu entwickeln. Verstärkender Faktor ist hier die Beatmung, bei der es bei vorliegendem Asthma gehäuft zu einem Air trapping kommt. (Air trapping= Einschluss von Luft in zumeist peripheren Lungenarealen durch kollabierte Bronchien) (40)

1.6.3 Überdruckbeatmung und die Progression des okkulten Pneumothorax

Welchen Einfluss eine maschinelle Beatmung auf die Entstehung eines Pneumothorax hat, ist Gegenstand der Forschung. So kann es durch die Beatmung zum Mediastinalemphysem kommen und bei vorhandenem Mediastinalemphysem in bis zu 50% zur Ausbildung eines Pneumothorax. Der PEEP (Positive Endexpiratory Pressure), das Beatmungsvolumen und die Beatmungsfrequenz sind maßgebliche Einflussgrößen. (65)

Beim okkulten Pneumothorax (OPTX) handelt es sich um einen mittels CT diagnostizierten Pneumothorax, der in der klinischen Untersuchung und im liegenden Thorax-Röntgen nicht erkannt wurde. (34)

In mehreren Studien, die die Progression eines OPTX nach stumpfem Thoraxtrauma untersuchten, konnte gezeigt werden, dass dieser unter Beatmung größer wird bzw. eine Entwicklungstendenz hin zum Spannungspneumothorax aufweist. (66–69)

Auf der anderen Seite zeigten Moore et al. in ihrer 2011 durchgeführten Studie eine Progression eines beatmeten OPTX zu einem interventionspflichtigen Pneumothorax in 14% der Fälle, dem Faktor Beatmung konnte jedoch in der Datenanalyse kein statistisch relevanter Effekt zugewiesen werden. Moore et al. zitierten des Weiteren mehrere Studien, die zwar die Progression des Pneumothorax aufzeigten, aber zumeist führte eine reine Observation ohne Drainage zu keiner höheren Mortalität im Vergleich zur Kontrollgruppe. Bei dem untersuchten Kollektiv handelte es sich um Patientinnen und Patienten nach stumpfem Thoraxtrauma. (44)

Auch Charbit et al. 2015 konnten in ihrer Studie keinen signifikanten Unterschied im Outcome zwischen einem beatmeten und nicht beatmeten Kollektiv mit OPTX feststellen. (43)

Hsu et al. zitierten in ihrer 2014 erschienenen Publikation mehrere Studien, die suggerieren, dass die Beatmungsparameter (Volumen, Druck, PEEP) weniger Einfluss auf die Entwicklung eines Pneumothorax haben, vielmehr erkrankungsbedingte

Veränderungen der Lungencompliance ausschlaggebend sind (70). So haben beispielsweise obstruktive und entzündliche Lungenerkrankungen eine höhere Wahrscheinlichkeit für ein Barotrauma mit folgendem Pneumothorax (65).

Aufgrund der eben zitierten Studien wäre demnach zwischen einer beatmeten Population mit vorbestehender Lungenerkrankung und einer Population ohne Lungenerkrankung zu unterscheiden, wenn man den Einfluss der Beatmung auf das Auftreten und die Progression eines Pneumothorax näher differenzieren wollte.

1.6.4 Rippenfrakturen

Rippenfrakturen treten beim Großteil der Reanimierten auf (siehe Punkt 1.2.4.1). Wie oft jedoch die Rippenfrakturen an sich oder aber die thorakale Krafteinwirkung der Herzdruckmassage auf die Lunge für den Pneumothorax verantwortlich sind, lässt sich nicht differenzieren. Die Kausalität zwischen Rippenfrakturen und dem Auftreten eines Pneumothorax kann mit einer Pleura- bzw. Lungenverletzung durch Einspießen von disloziert frakturierten Rippen in die Lunge erklärt werden. (14)

So zeigten Rudinská et al. 2016 einen signifikanten Zusammenhang von ITI (Intrathoracic Injuries = Verletzung von Lunge, Herz und Perikard) und dem Auftreten von Rippenfrakturen. (23)

Möglicherweise haben auch in der Bildgebung nicht dislozierte Rippen das Potential, während der Kompressionsphase der Herzdruckmassage zu dislozieren und die Pleura zu verletzen. Wissenschaftlich ist das aber kaum zu objektivieren.

1.6.5 Reanimationsdauer

Die Studienlage liefert keine klare Antwort auf die Frage, wann während einer Reanimation Thoraxverletzungen auftreten. Ein Vergleich verschiedener Studien, die sich mit dieser Frage befassten, fällt, aufgrund von großen Unterschieden in der Einteilung der untersuchten Zeitintervalle, schwer.

Die Autopsie Studie von Kaldirim et al. 2016 zeigte, dass Reanimationsverletzungen gehäuft in der Gruppe von über 60 Minuten lang Reanimierten auftraten. (0-30min 23,9% n=11, 31-60min 23,9% n=11, >60min 55,2% n=37) (21)

Schon Krischer et al. zeigten 1987 eine Zunahme der Rippenfrakturen bei längerer Reanimationsdauer, jedoch ohne die Population in Zeitintervalle einzuteilen. 2015 publizierten Kashiwagi et al. ähnliche Ergebnisse. (11, 19)

Viniol et al. analysierten verschiedene Zeitintervalle, die meisten Verletzungen konnten in der Kohorte mit einer Reanimationsdauer von über 20 Minuten nachgewiesen werden:

Duration of CPR ¹	Pneumothorax ²	Tension-pneumothorax ²	Sternal fracture ²	Mediastinal hematoma ²	Chest wall hematoma ²	Lung contusion ²	Outcome ^{2,3}
>20	11 (45.83)	2 (100)	8 (53.33)	8 (44.44)	7 (50.00)	10 (62.50)	25 (46.30)
10–20	5 (20.83)	0 (0.00)	1 (6.67)	6 (33.33)	1 (7.14)	1 (6.25)	14 (25.93)
<10	3 (12.50)	0 (0.00)	4 (26.67)	2 (11.11)	3 (21.43)	2 (12.50)	7 (12.96)
Unknown	5 (20.83)	0 (0.00)	2 (13.33)	2 (11.11)	3 (21.43)	3 (18.75)	8 (14.81)

¹ Cardiopulmonary resuscitation in minutes
² n (%)
³ Death in hospital

Abbildung 20: Zeitabhängigkeit der Reanimations-assoziierten Verletzungen (29)

Zu gegenteiligen Ergebnissen kamen Champignuelle et al. 2018, hier konnten keine Zusammenhänge zwischen Reanimationsdauer und dem Auftreten von Reanimationsverletzungen nachgewiesen werden. In Bezug auf Verletzungen des knöchernen Thorax wird hier, wie auch schon bei Baubin et al. 1999 vermutet, dass Frakturen vor allem zu Beginn der Herzdruckmassage auftreten, möglicherweise durch die am Anfang mit größerer Kraft durchgeführte Herzdruckmassage. (31, 71)

Studien, die sich mit dem Auftreten von ITI, allen voran Lungenkontusionen und Lungenrissen bzw. Herzkontusionen beschäftigten, konnten keine signifikante Zunahme von Verletzungen nach längerer Reanimationsdauer feststellen. (23, 72)

Auch wenn es logisch scheint, dass bei einer länger durchgeführten Herzdruckmassage und größeren kumulativ einwirkenden Kräften mehr Verletzungen auftreten, lässt sich dazu aus der vorhandenen Datenlage keine eindeutige Aussage treffen.

1.7 Studienrelevante Begriffsdefinitionen und Einflussgrößen

1.7.1 Einfluss der Laienreanimation/Delay

Dass eine Laienreanimation sowohl auf das Auftreten eines ROSC (Return of spontaneous circulation), aber auch auf das weitere Outcome der Reanimierten einen großen positiven Einfluss nimmt, ist klar belegt. So wird eine Steigerung der ROSC Rate von 33% auf 49% mit stattgefundenener Laienreanimation beschrieben, sowie eine 2,2-fach höhere Chance, das Krankenhaus wieder lebend zu verlassen (survival to hospital discharge). (73, 74)

Betrachtet man längerfristige Outcome-Parameter wie das 30 Tage Überleben, das 1-Jahres Outcome oder das neurologische Outcome, zeigen sich hochsignifikante Unterschiede zu Gunsten der Laienreanimierten. (75–78)

Die beiden im Datensatz erfassten Parameter Laienreanimation ja/nein und das als Zeitspanne zwischen Kollaps und Beginn der Wiederbelebungsmaßnahmen benannte Delay sind eng miteinander verknüpft, da bei stattgefundenem Laienreanimation oft ein (durch den Laien) beobachteter Herzkreislaufstillstand auftrat und das Delay dementsprechend kurz war. Beim nicht beobachteten HKS mit Laienreanimation variiert das Delay jedoch stark, so dass der Parameter Laienreanimation wenn auch oft, so doch nicht zwingend, mit einem kurzen Delay einhergeht.

Betrachtet man den Einfluss einer funktionierenden Rettungskette mit möglichst kurzen Ausrück- und Anfahrtszeiten, so zeigt sich, dass die Zeit vom Kollaps bis zum Eintreffen der Rettungsmittel bei Patientinnen und Patienten ohne ROSC signifikant länger war als bei Patientinnen und Patienten, die einen ROSC erlangten. Bei der Laienreanimation ist diese Zeitspanne zwar nicht dem Delay gleichzusetzen, die folgende Abb. 21, die Daten aus dem Deutschen Reanimationsregister verwendet, gibt aber einen guten Überblick über die ROSC-Raten in Abhängigkeit zu der Ausrück- bzw. Anfahrtszeit des Rettungsmittels.

(73)

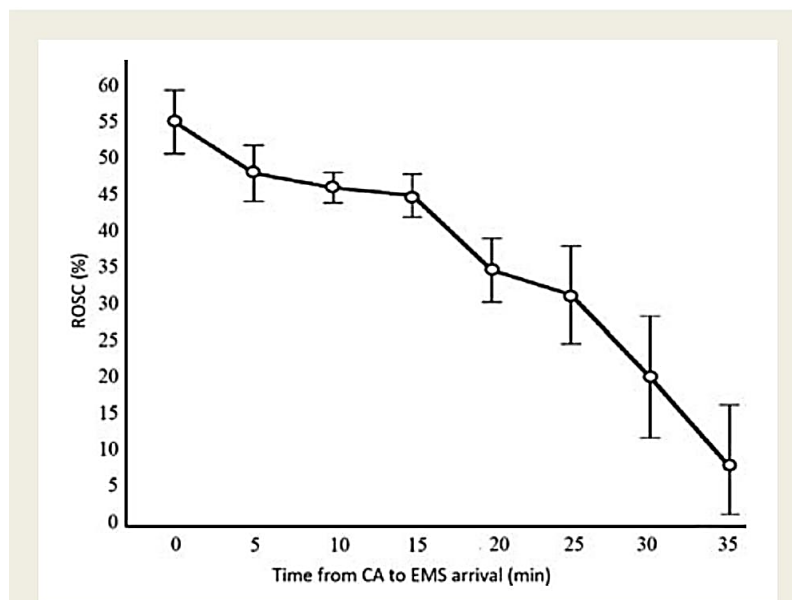


Figure 1 Relationship between time from cardiac arrest (CA) to emergency medical services (EMS) arrival and observed return of spontaneous circulation (ROSC). Return of spontaneous circulation is presented as percentage with 95% confidence interval.

Abbildung 21: ROSC Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Zeitfaktor (67)

1.7.2 Definition und Einfluss der Reanimationsdauer

Eine längere Reanimationszeit geht im Allgemeinen mit einem schlechteren Outcome einher, allerdings sind individuelle Faktoren wie ein initial schockbarer EKG Rhythmus, eine durchgeführte Laienreanimation bzw. ein beobachteter HKS Einflussgrößen, die ein Überleben auch bei längerer Reanimationszeit ermöglichen. Somit lässt sich pauschal keine eindeutige Zeit festlegen, ab der eine Reanimation beendet werden sollte und ein gutes Outcome des Reanimierten ausgeschlossen ist. (78, 79)

Die Reanimationsdauer errechnet sich im bearbeiteten Datensatz als Zeitdifferenz aus den Parametern „Zeitpunkt Start Herzdruckmassage“ und „Zeitpunkt ROSC“. Die ebenfalls angegebene Zeitspanne „präklinische Versorgungszeit“ errechnet sich aus den Zeitparametern „Eintreffen des ersten Rettungsmittels am Einsatzort“ und „Übergabezeitpunkt im Krankenhaus“.

1.7.3 ROSC Definition

Der Vollständigkeit halber sei hier die allgemein verwendete Definition des ROSC angeführt: ROSC = tastbarer Puls für mehr als 20 Sekunden. (73)

1.7.4 CPC

Die CPC (Cerebral Performance Category) Klassifikation ist ein weitverbreitetes Tool zur Objektivierung des neurologischen Outcomes von Reanimierten. Die Einteilung erfolgt in 5 Kategorien, die aufsteigend mit einem schlechteren neurologischen Outcome einhergehen.

Table 1 Cerebral Performance Category

1. Good Cerebral Performance (<i>Normal Life</i>)	Conscious, alert, able to work and lead a normal life. May have minor psychological or neurologic deficits (mild dysphasia, nonincapacitating hemiparesis, or minor cranial nerve abnormalities).
2. Moderate Cerebral Disability (<i>Disabled but Independent</i>)	Conscious. Sufficient cerebral function for part-time work in sheltered environment or independent activities of daily life (dress, travel by public transportation, food preparation). May have hemiplegia, seizures, ataxia, dysarthria, dysphasia, or permanent memory or mental changes.
3. Severe Cerebral Disability (<i>Conscious but Disabled and Dependent</i>)	Conscious; dependent on others for daily support (in an institution or at home with exceptional family effort). Has at least limited cognition. This category includes a wide range of cerebral abnormalities, from patients who are ambulatory but have severe memory disturbances or dementia precluding independent existence to those who are paralyzed and can communicate only with their eyes, as in the locked-in syndrome.
4. Coma/Vegetative State (<i>Unconscious</i>)	Unconscious, unaware of surroundings, no cognition. No verbal or psychologic interaction with environment.
5. Brain Death (<i>Certified brain dead or dead by traditional criteria</i>)	Certified brain dead or dead by traditional criteria.

Abbildung 22: Cerebral Performance Category (74)

1.7.5 PES(A)

Der von Breckwoldt et al. 2004 entwickelte PESA Score (Pre Emergency Status Assessment) ist ein Instrument zur präklinischen Einschätzung der Patientengesundheit. In Anlehnung an den von der American Society of Anesthesiologists (ASA) zu Abschätzung des perioperativen Risikos entwickelten ASA Scores ist der PESA Score für die einfache Anwendung direkt am Notfallort konzipiert. In die Beurteilung fließen Anamneseinformationen (Vorbefunde etc.) und der klinische Eindruck der Patientin/des Patienten ein. (80)

Die Kodierung des PESA Scores erfolgt in fünf Kategorien:

01 = ohne Vorerkrankungen

02 = Vorerkrankungen ohne nennenswerte Einschränkung des täglichen Lebens

03 = Vorerkrankungen mit nennenswerter Einschränkung des täglichen Lebens

04 = normales tägliches Leben unmöglich

05 = Pat. wird in der nächsten 24 Stunden sterben, mit oder ohne medizinische Hilfe

Auch wenn der Einwand nachvollziehbar ist, dass die Einschätzung des PESA sehr subjektiv und nur mit oberflächlichen und unter Zeitdruck erhobenen Informationen

erfolgt, hat sich bei nachträglicher Recherche der Krankengeschichte anhand von 339 analysierten Einsätzen an der Charité in Berlin gezeigt, dass die Ersteinschätzung in vielen Fällen zuverlässig ist. (80)

1.8 Reanimationsregister

1.8.1 Zweck und Aufbau

Beim Deutschen Reanimationsregister (German Resuscitation Registry = GRR) handelt es sich um eine 2007 gegründete überregionale Datenbank zur Dokumentation von präklinischen, aber auch innerklinisch durchgeführten Reanimationen. Wie in der Schweiz und in Luxemburg werden auch in Österreich Reanimationsdaten in das Register eingespielt, um durch Beforschung dieser Daten zu einer Optimierung der Versorgung von Patientinnen und Patienten mit Herz-Kreislauf-Stillstand beizutragen. Neben der Auswertung der eigenen Daten können diese international über ein Benchmarking verglichen werden, um eigene Stärken und Schwächen in der Reanimationsversorgung zum Zweck der Qualitätssicherung zu eruieren. (16)

Zuerst wurde das Modul „Erstversorgung“ entwickelt, das sämtliche präklinische Daten beinhaltet. So sind dies unter anderem Zeitparameter zum Kollaps, dem Notrufeingang bei der Rettungsleitstelle, dem Eintreffen der Rettungsmittel, dem Beginn der Herzdruckmassage, der ersten Defibrillation, dem Zeitpunkt der Intubation, des Transportbeginnes und der Patientenübergabe im Krankenhaus. Später wurden durch Verknüpfung mit innerklinischen Daten die Module „Weiterversorgung“ und „Langzeitverlauf“ entwickelt. Das Modul „Weiterversorgung“ beinhaltet Befunde diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen der innerklinischen Behandlung wie z. B. EKG, Röntgen, Ultraschalluntersuchung, Labor, Bronchoskopie und thrombolytische Therapie, Herzkatheter, Bypassoperation oder therapeutische Hypothermie-Behandlungen und weitere Daten der Krankenhausbehandlung bis zur Entlassung oder aber zum Tod des Reanimierten. Im Modul „Langzeitverlauf“ werden unter anderem der Zeitpunkt der Entlassung des Reanimierten bzw. sein Todeszeitpunkt und die Qualität des Überlebens zu den Zeitpunkten Krankenhausentlassung, 30 Tage und 12 Monate nach der Reanimationsbehandlung, erfasst. (16)

Konkret erfolgt die Datenerfassung im Reanimationsregister anhand von Protokollen, entweder durch manuelle Eingabe über eine Webapplikation oder mittels Uploads aus elektronischen Dokumentationssystemen über eine programmierte Schnittstelle. (16)

1.8.2 Utstein Kriterien

Reanimationsregister-Daten werden anhand der Utstein Kriterien erfasst. Der erstmals 1991 publizierte Utstein-Style geht auf ein Treffen der European Society of Cardiology, der European Academy of Anesthesiology, der European Society for Intensive Care Medicine und anderen nationalen Gremien im norwegischen Utstein zurück. Seitdem mehrfach weiterentwickelt und erweitert, dient er dazu, die standardisierte Erfassung von Reanimationsdaten zu ermöglichen und einheitliche Begriffsdefinitionen einzuführen. (81–83) Die folgende Abbildung zeigt einen Überblick der im Utstein Style erfassten Parameter:

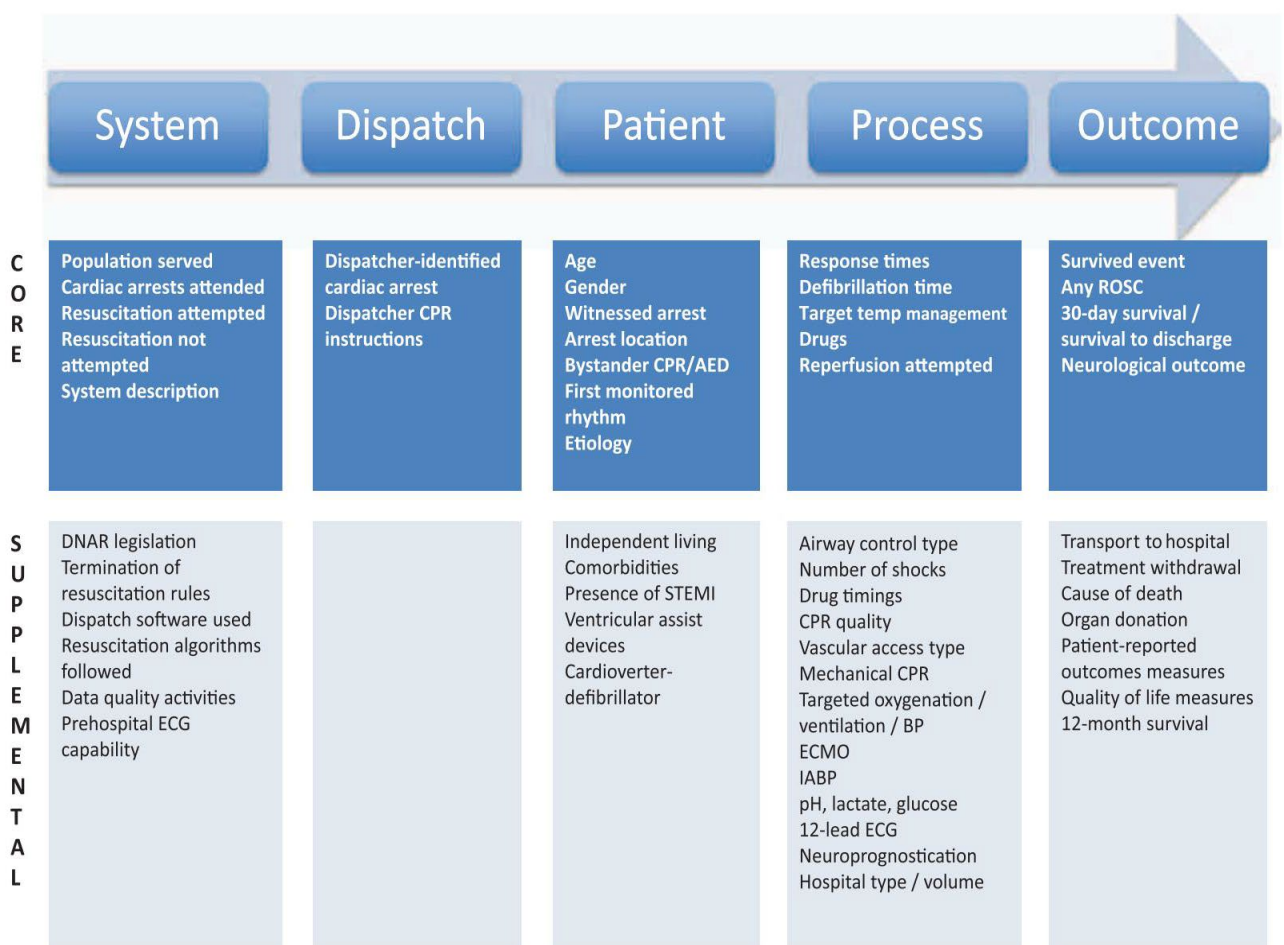


Abbildung 23: Utstein Kriterien (83)

Grazer Reanimationsregister:

Das Grazer Reanimationsregister wurde 2013 gegründet und spielt einmal jährlich Daten in das deutsche Reanimationsregister ein. Die Datenerfassung der Reanimationen und Todesfeststellungen durch den NEF Standort LKH-Univ. Klinikum Graz erfolgt inzwischen mittels programmierter Schnittstelle (MEDEA-Applikation). Bei erfolgreicher

Reanimation wird ein Weiterversorgungsprotokoll angelegt, dieses Protokoll wird dann mit dem KIS (Krankenhausinformationssystem) verknüpft und es werden Daten über den weiteren innerklinischen Verlauf der Patientin/des Patienten in das Reanimationsregister eingespielt. Mit Stand 31.12.2019 wurden so bisher 862 Fälle erfasst, in 229 Fällen wurde ein Weiterversorgungsprotokoll angelegt. (4, 84)

2 Material und Methoden

In die retrospektive Studie (*Ethikvotum: EK-Nr. 28-167 ex 15/16*) wurden sämtliche Herzkreislaufstillstände im Versorgungsgebiet des NEF Standort LKH-Univ. Klinikum Graz aus den Jahren 2014 bis 2019 eingeschlossen, die einen ROSC erlangten und in weiterer Folge im Krankenhaus der Maximalversorgung bzw. Schwerpunktversorgung (LKH-Univ. Klinikum Graz und LKH Graz II, Standort West) aufgenommen wurden.

Der Export der Rohdaten zu den durchgeführten Reanimationen erfolgte als Excel Datei aus dem GRR unter folgendem Filter:

Zeitraum: 01.01.2014 - 31.12.2019

Standort: Graz - Notarztwagen Universitätsklinikum Graz

Protokolltyp: Reanimation

Freigabe: freigegeben

Vollständigkeit: vollständig

WV-Protokoll: vorhanden

Die Daten der Reanimierten sind in diesem Export teilanonymisiert, das heißt, es finden sich neben sämtlichen medizinischen Daten nur das Einsatzdatum, Geschlecht und ein Geburtsdatum im Monat-Jahr Format. Um die aus dem GRR selektierten Fälle innerklinisch einem Reanimierten zuteilen und weiterverfolgen zu können, wurden die genauen Geburtsdaten der Patientinnen und Patienten aus dem lokalen Einsatzregister des NEF LKH-Univ. Klinikum Graz erhoben.

Um die Fälle leichter einem Einsatzprotokoll aus dem NEF Einsatzregister zuordnen zu können, erfolgte die Vor-Selektion der über 14000 Einsätze mit dem Filter „ergebnis_reanimationstod_Reanimation erfolgreich“.

Bei Vergleich des „Export Reanimationsregister“ und des „Export Einsatzregister“ fiel eine Diskrepanz zwischen beiden Datensätzen auf: So fanden sich im Datensatz „Export

Einsatzregister (Filter erfolgreich reanimiert)“ Einsätze, die nicht im „Export Reanimationsregister“ aufschienen und umgekehrt.

Nachdem bei Durchsicht der innerklinischen Verläufe sichergestellt wurde, dass es sich tatsächlich um erfolgreich durchgeführte präklinische Reanimationen handelte, wurde der Studiendatensatz aus beiden Exporten zusammengefügt. Mit den genauen Angaben zum Einsatzdatum und Geburtsdatum der Reanimierten konnte nun die Weiterverfolgung der Patientenfälle im Krankenhausinformationssystem MEDOCS erfolgen.

Folgende Ausschlussgründe wurden im Vorfeld definiert:

- Kein OHCA (Bsp. Überstellungstransport aus einem anderen Krankenhaus, Peri-Arrest Situationen, ICD Auslösungen, keine durchgeführte HDM sondern Defibrillation und/oder Beatmung)
- Traumatische HerzKreislaufstillstände
- Thoraxchirurgischer Eingriff im letzten Jahr
- Mangelnde Datenqualität, die eine innerklinische Nachverfolgung des Verlaufs unmöglich machte

Die im Datensatz enthaltenen Parameter lassen sich nach ihrer Erhebung in drei Kategorien einteilen:

1. Bereits im Export vorhanden Rohdaten:

- Alter
- Geschlecht
- PES
- CPC
- Laienreanimation ja/nein
- Überleben ja/nein

2. Zeitparameter, die aus den im Export vorhandenen Daten berechnet wurden:

- Reanimationsdauer (Zeitspanne Start Herzdruckmassage bis Zeitpunkt ROSC)
- Delay (Zeitspanne Kollaps bis Start der Herzdruckmassage)

- präklinische Versorgungszeit (Zeitspanne Kollaps bis Zeitpunkt Übergabe im Krankenhaus)
- stationäre Aufenthaltsdauer in Stunden (Zeitspanne Aufnahmezeitpunkt bis Tod/Entlassung aus dem Krankenhaus)

3. Aus dem MEDOCS erhobene Parameter:

- Pneumothorax ja/nein durch Sichtung der innerhalb der ersten 12 Stunden nach Aufnahme durchgeführten Bildgebung (Thorax-Röntgen, Lungensonographie, Thorax CT)
- Thoraxdrainage ja/nein
- in den Gesamtdiagnosen codierte pulmonale Vorerkrankungen des Reanimierten wurden in folgende Gruppen eingeteilt:

Gruppe 1: obstruktiv (COPD, Asthma, Emphysem)

Gruppe 2: entzündlich/infektiös (Pneumonien sämtlicher Genesen)

Gruppe 3: interstitiell (fibrosierende und zystische Lungenerkrankungen)

Gruppe 4: neoplastisch (Lungenkarzinom oder sekundäre Neoplasien der Lunge)

- Bei unvollständiger Erfassung des CPC Scores, der Entlassungs/Todesdaten bzw. des Parameters Laienreanimation ja/nein, erfolgte ein Nachtrag der fehlenden Daten bei eindeutiger Angabe in den Arztbriefen/Intensivdekursen.

Um den Einfluss dieser Parameter auf das Überleben der Reanimierten zu schätzen, erfolgte die statistische Auswertung der Outcome-Analyse mittels einer logistischen Regression. Als statistisch signifikant wurde allgemein ein p Wert von $<0,05$ definiert. Zur Analyse von den das neurologische Outcome (gemessen am CPC) beeinflussenden Parametern, wurde ein in das Modell der R Bibliothek MASS von Venables and Ripley (2002) implementiertes Proportional Odds Logistic Regression Modell von McCullagh (1980) gewählt. Für die Analyse von Parametern, die die Aufenthaltsdauer beeinflussen (Stay-Modell) diente aufgrund der Schiefe der Verteilung ein loglineares Gammamodell. Die Ursachenanalyse des Pneumothorax wurde wiederum mit einem logistischen Regressionsmodell durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Erstellung des Datensatzes:

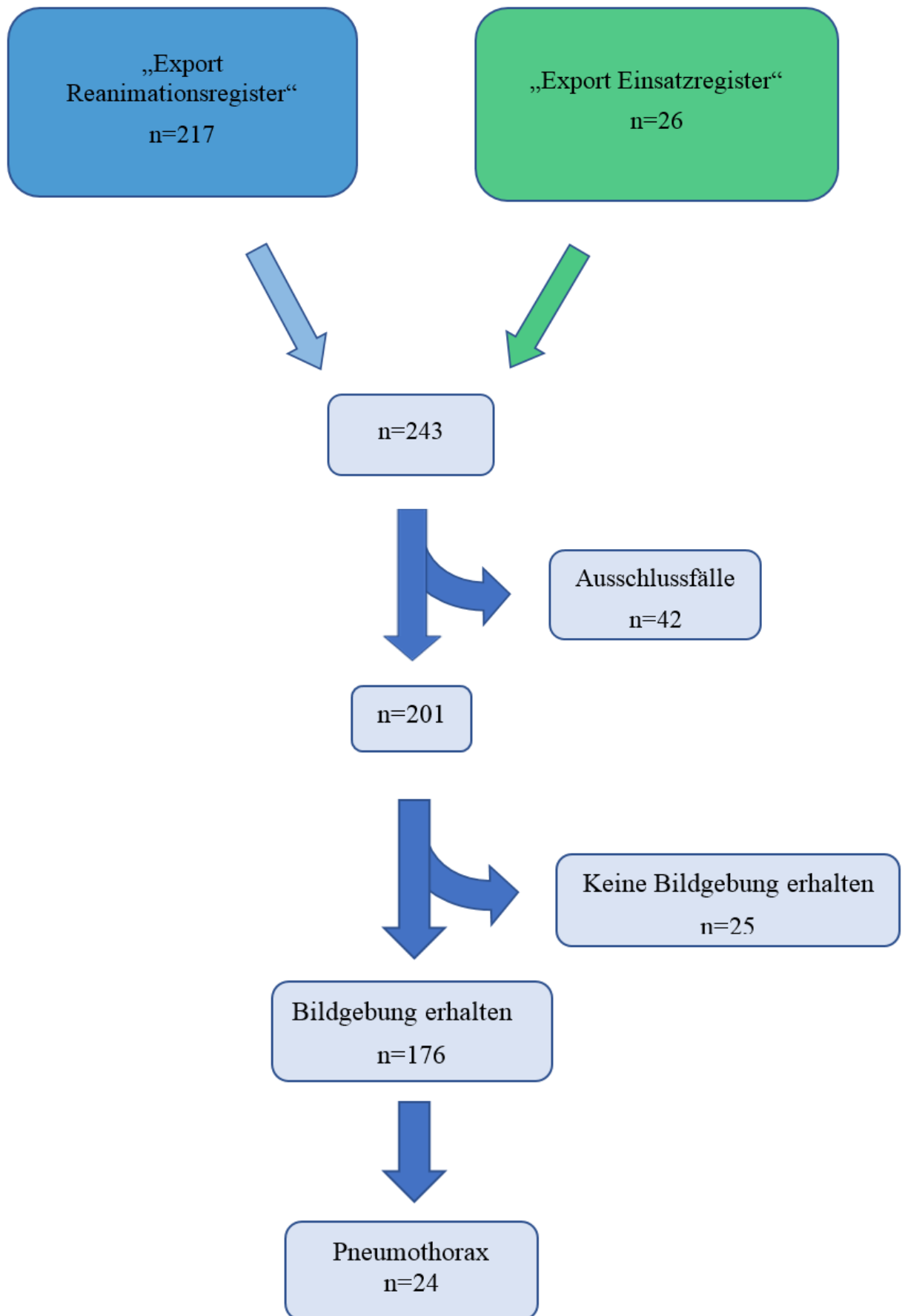
Aus dem deutschen Reanimationsregister konnten im gewählten Zeitraum 01.01.2014-31.12.2019 217 Fälle exportiert werden. Zusätzliche 26 Fälle fanden sich im Einsatzregister (Filter: „ergebnis_reanimationstod_Reanimation erfolgreich“).

In 11 Fällen konnten die Reanimierten aufgrund von fehlenden Angaben zum Namen (No-Names) und/oder Geburtsdatum nicht innerklinisch weiterverfolgt werden. Weitere 31 Fälle erfüllten die Einschlusskriterien nicht, weil der HKS innerklinisch auftrat, keine Herzdruckmassage durchgeführt wurde oder weil ein traumatischer HKS vorlag. In Summe wurden so 42 Fälle ausgeschlossen.

Von 201 weiterverfolgten Fällen konnte in 25 Fällen keine Angaben zu einer durchgeführten Thorax-Bildgebung erhoben werden, zumeist weil diese Reanimierten kurz nach dem Eintreffen im Krankenhaus verstarben.

176 Fälle erhielten eine Bildgebung in Form eines Thorax-Röntgens, einer Thorax-CT oder einer Lungensonographie in den ersten 12 Stunden nach Aufnahmen und bilden die Studienpopulation, die statistisch untersucht wurde.

Im folgenden Flowchart findet sich die Darstellung des eben geschilderten Prozesses der Fallauswahl:



3.2 Häufigkeiten und Verteilungen der Einflussgrößen:

3.2.1 Pneumothorax

Ein Pneumothorax wurde bei 24 der 176 Fälle diagnostiziert. Das entspricht einer Häufigkeit von 13,6%. Differenziert man zwischen Frauen und Männern, so lag ein Pneumothorax bei 9 Patientinnen und 15 Patienten vor. Beachtet man die Geschlechterverteilung im gesamten Datensatz, so lässt sich keine geschlechtsspezifische Häufung nachweisen. In 15 der 24 Fälle handelte es sich um einen interventionspflichtigen Pneumothorax, das heißt der Pneumothorax musste mittels Drainage entlastet werden. In 6 Fällen erfolgte dies bereits präklinisch durch den Notarzt.

Schlüsselt man die zur initialen Diagnose des Pneumothorax verwendete Bildgebung weiter auf, erfolgte diese in 11 Fällen mittels Thorax-Röntgen, in 11 Fällen mittels Thorax-CT und in 2 Fällen durch eine Lungensonographie. Bei den untersuchten Fällen trat der Pneumothorax in 7 Fällen beidseitig in 7 Fällen linksseitig und in 10 Fällen rechtsseitig auf.

3.2.2 CPC

Betrachtet man die Verteilung der CPC so fand sich in 39 Fällen eine CPC 1, in 12 Fällen eine CPC 2, in 6 Fällen eine CPC 3, in 4 Fällen eine CPC 4 und in 115 Fällen eine CPC 5.

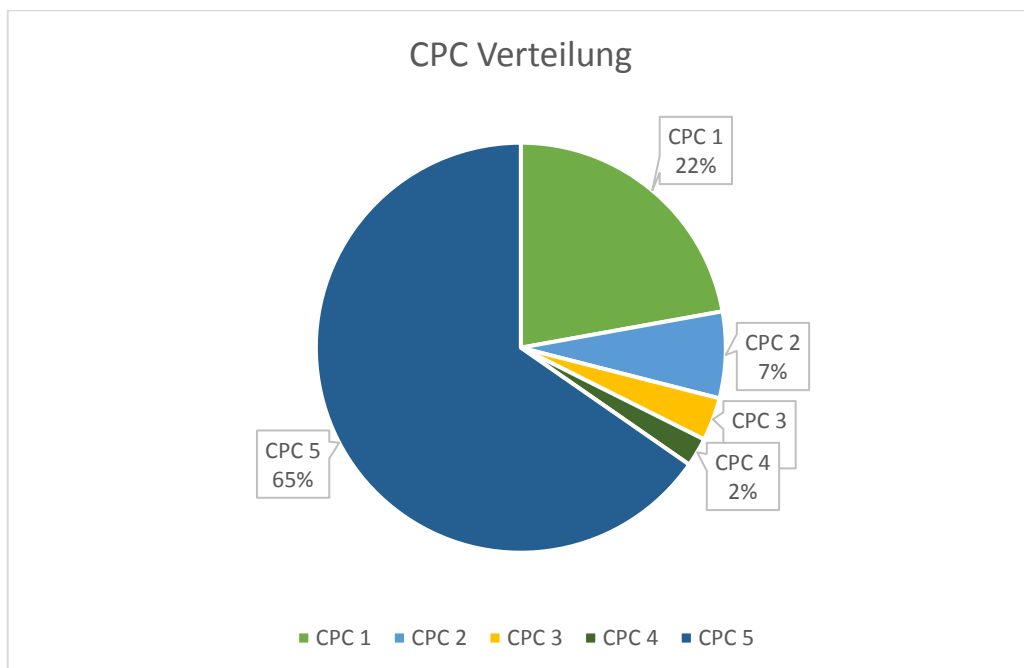


Abbildung 24: CPC Verteilung

3.2.3 Pulmonale Vorerkrankungen

In der im MEDOCS erfassten Krankengeschichte fanden sich bei 54 der 176 eingeschlossenen Fälle Lungenerkrankungen. 48 Reanimierte codierten für obstruktive Lungenerkrankungen, 3 für entzündlich/infektiöse Lungenerkrankungen, 0 Fälle für interstitielle Lungenerkrankungen und 3 Fälle für neoplastische Lungenerkrankungen.

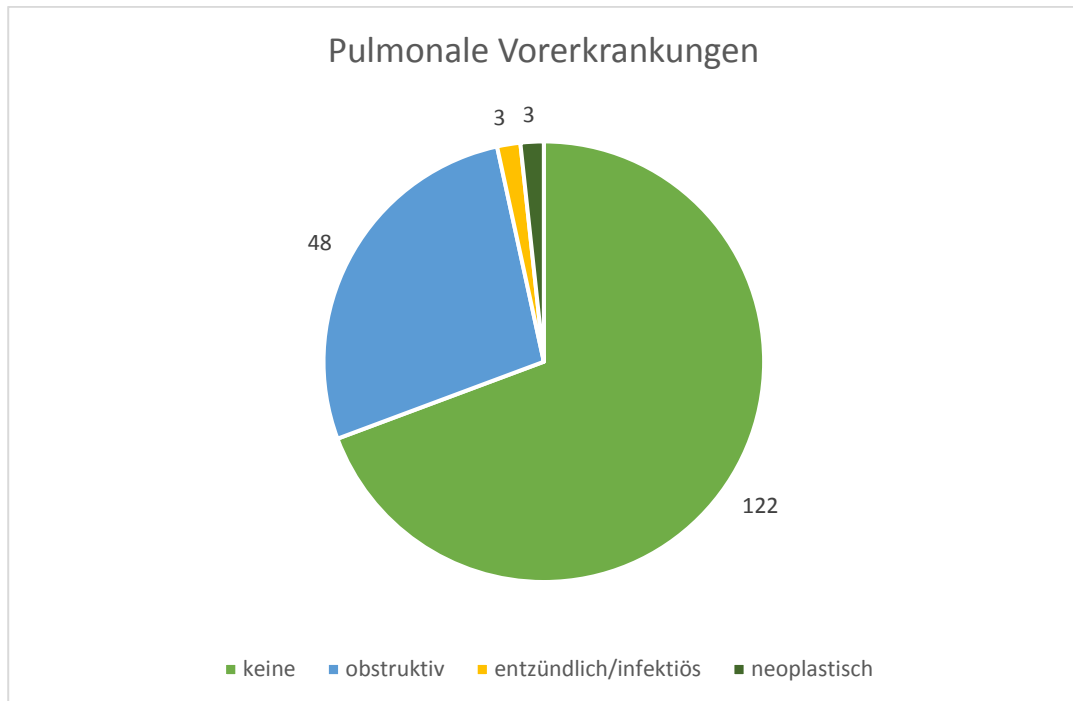


Abbildung 25: Verteilung der pulmonalen Vorerkrankungen

3.2.4 Alters- und Geschlechterverteilung

Betrachtet man die Altersverteilung der Studienpopulation, so fanden sich Reanimierte zwischen 5 und 93 Jahren. Der Altersmittelwert betrug 65,1 Jahre, es zeigte sich kein wesentlicher Unterschied in den Altersmittelwerten der beiden Geschlechter. Bei 72,1% der Reanimierten handelte es sich um Männer, bei 27,9% um Frauen.

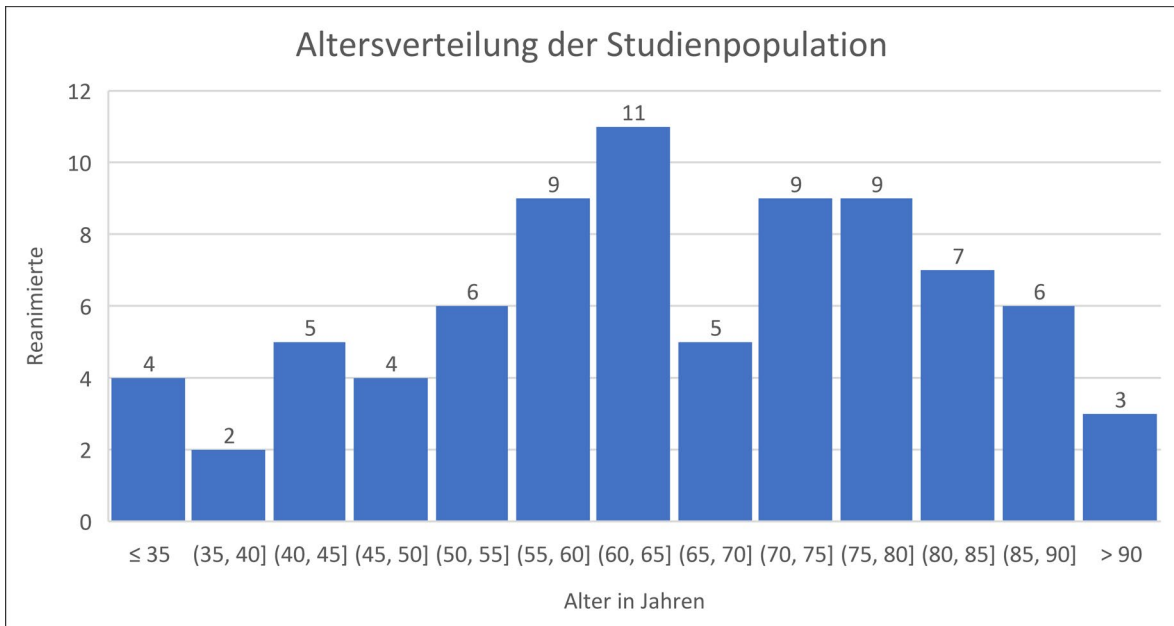


Abbildung 26: Altersverteilung der Studienpopulation

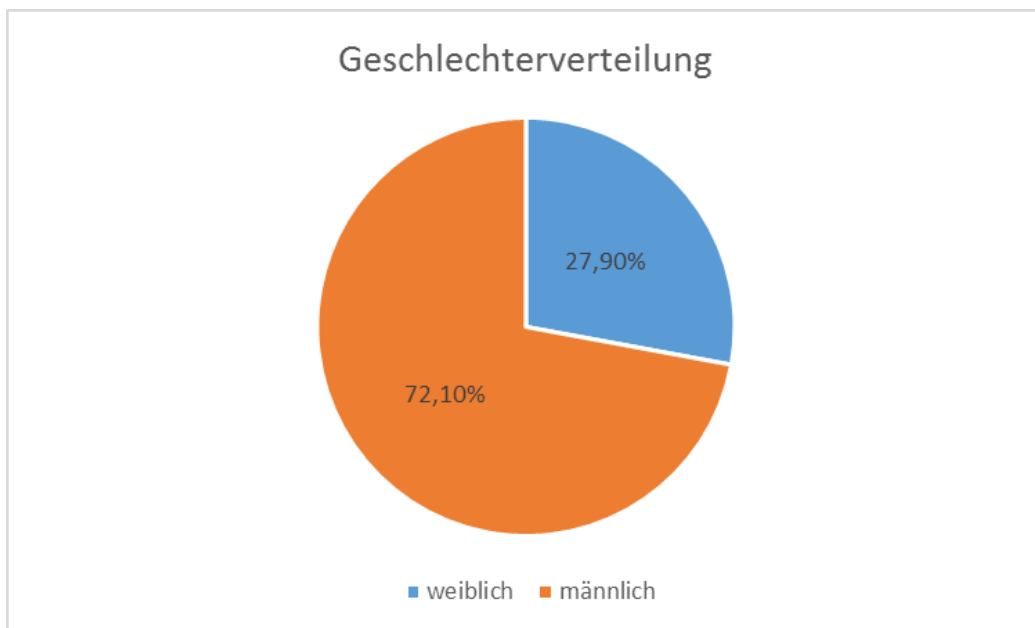


Abbildung 27: Geschlechterverteilung der Studienpopulation

3.2.5 Delay und Laienreanimation

Angaben zum Delay konnten in 166 Fällen erhoben werden. Das Delay betrug im Mittel 3,2 Minuten (Standardabweichung 4,8 Minuten).

Eine Laienreanimation wurde in 84 der 176 Fälle durchgeführt. Erfolgte eine Laienreanimation, betrug das Delay 1,6 Minuten im Mittel, ohne Laienreanimation waren es 4,3 Minuten.

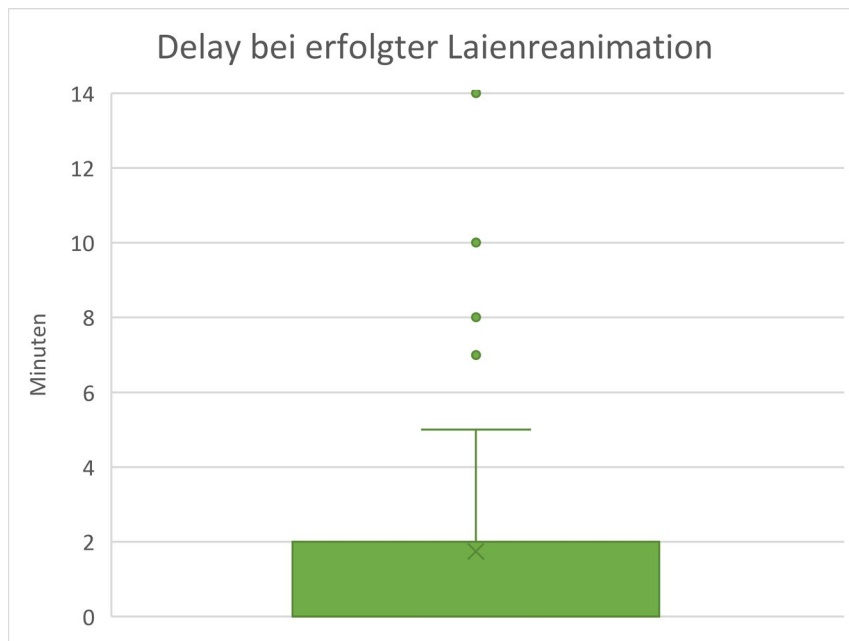


Abbildung 28: Delay bei erfolgter Laienreanimation n=84

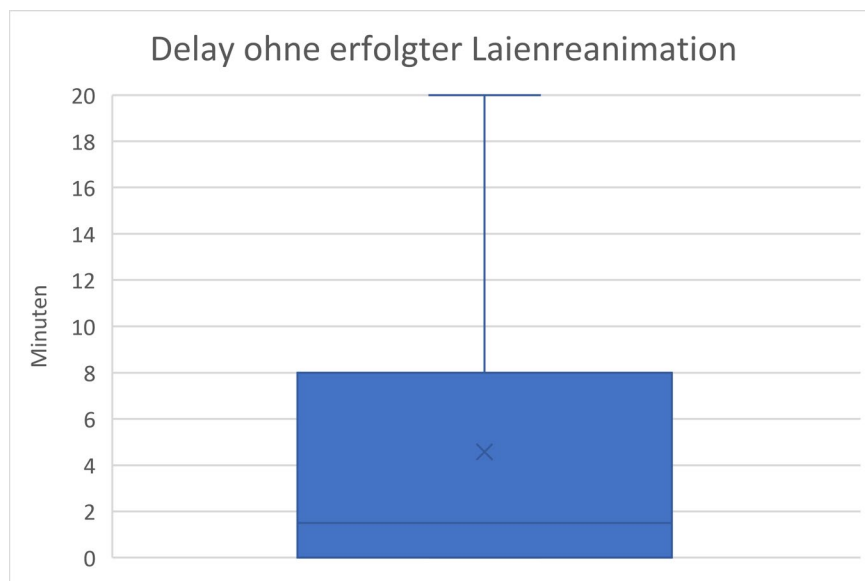


Abbildung 29: Delay ohne erfolgter Laienreanimation n=92

3.2.6 Präklinische Versorgungszeit

Die präklinische Versorgungszeit betrug im Mittel 76 Minuten mit einer Standardabweichung von 23,3 Minuten und verteilte sich wie folgt:

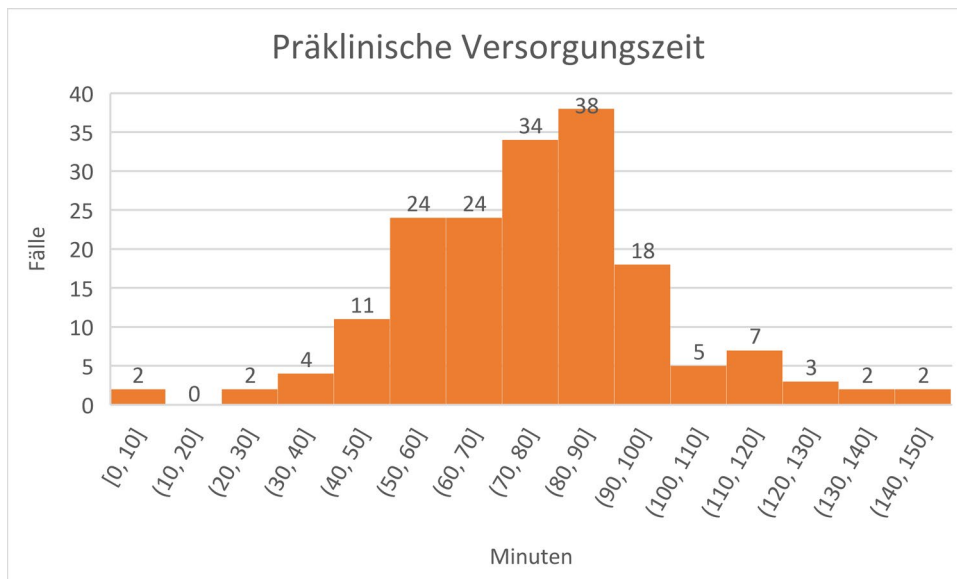


Abbildung 30: Verteilung der präklinischen Versorgungszeit

3.2.7 Reanimationszeit

Die präklinische Reanimationsdauer bis zum ersten ROSC betrug im Mittel 22,1 Minuten mit einer Standardabweichung von 19,4 Minuten.

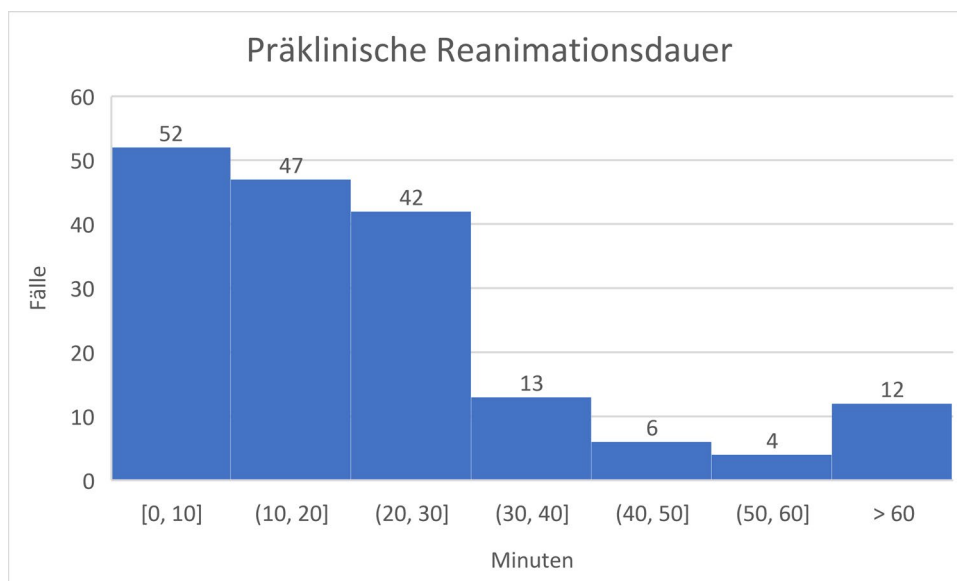


Abbildung 31: Verteilung der präklinischen Reanimationsdauer

3.2.8 PES(A) Scores

In 19 Fällen fand sich ein PES der Kategorie 1, in 62 Fällen ein PES 2, in 80 Fällen ein PES 3, in 15 Fällen ein PES 4 und in 0 Fällen ein PES 5.

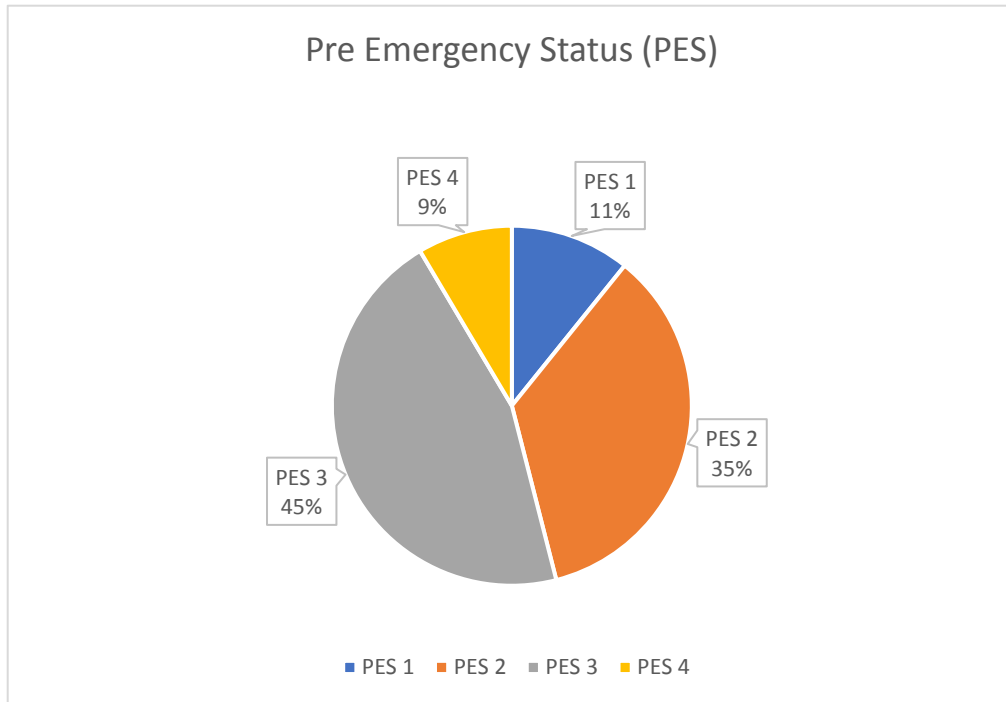


Abbildung 32: Verteilung der PES (A) Scores

3.2.9 Aufenthaltsdauer (Stay)

Die stationäre Aufenthaltsdauer bis zum Versterben oder zur Entlassung der Reanimierten, verteilte sich wie folgt:

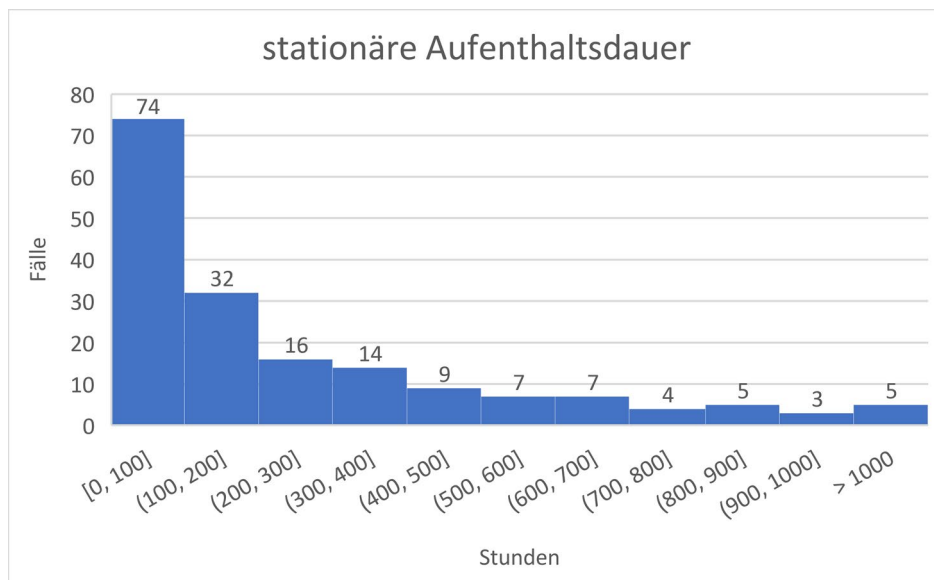


Abbildung 33: Verteilung der stationären Aufenthaltsdauer

Zusammenfassend findet sich in der folgenden Tabelle ein Überblick der erfassten Einflussgrößen:

	Mittelwert		CPC n=	PES n=
Alter der Reanimierten (Jahre)	51,1	1	39	19
Präklinische Versorgungszeit (Minuten)	76	2	12	62
Reanimationsdauer (Minuten)	22,1	3	6	80
Stay Überlebt (Stunden)	513	4	4	15
Stay Verstorben (Stunden)	119	5	115	0
Delay bei Laienreanimation (Minuten)	1,6			
Delay ohne Laienreanimation (Minuten)	4,3			

	Ja n=	Nein n=
Überlebt	61	115
Pneumothorax	24	152
Laienreanimation	84	92

	obstruktiv	entzündlich	interstitiell	neoplastisch
Pulmonale Vorerkrankungen	48	3	0	3

Tabelle 4: Übersichtstabelle der deskriptiven Daten

3.3 Outcome-Analyse

Die Analyse des Outcomes erfolgte anhand des binären Parameters Überleben ja/nein, des mit dem CPC Score erfassten neurologischen Outcomes und der als Stay bezeichneten Dauer des stationären Aufenthalts in Stunden. In die Analyse wurden sämtliche erfasste Faktoren (Alter, Geschlecht, PES, CPC, Lungenerkrankungen, Laienreanimation ja/nein, präklinische Versorgungszeit, präklinische Reanimationsdauer, Delay, Pneumothorax ja/nein) eingeschlossen.

3.3.1 Überleben

61 der 176 erfassten Fälle überlebten den Herzkreislaufstillstand, in 115 Fällen verstarb der Reanimierte im Krankenhaus. Zur Analyse, welche Faktoren das Überleben beeinflussen,

wurde ein logistisches Regressionsmodell verwendet. Nach schrittweiser Reduktion hatten folgende Faktoren einen statistisch signifikanten Einfluss auf das Überleben der Patientinnen und Patienten:

- PES ($p = <0.001$)
- Delay ($p = <0.001$)
- Reanimationszeit ($p = <0.001$)

Differenziert man nun den PES weiter in seine Kategorien und berechnet die Odds Ratio der Scores zueinander, so hat ein Reanimierter mit dem PES 2 eine um 71,7% geringere Chance zu überleben als ein Reanimierter mit dem PES 1. Bei einem PES 3 verringert sich diese Überlebenschance um 91,5% und bei einem PES 4 um 98,4%, jeweils gemessen an einem PES von 1.

Betrachtet man den Einfluss eines zunehmenden Delays auf das Überleben, so verringert jede Zunahme des Delays um eine Minute die Überlebenschance um 23,8%. Nimmt das Delay um 2 Minuten zu, verringert sich diese Chance um 42%. Eingeschlossen in die Analyse des Delays wurden 166 Fälle. Bei 10 Reanimationen fehlten Angaben zum Delay.

Eine ähnliche Auswirkung auf das Überleben findet sich bei einer Zunahme der Reanimationsdauer. Verlängert sich diese um eine Minute, sinkt die Überlebenschance um 10,8%, verlängert sie sich um 5 Minuten sinkt sie um 74,4%. Da nicht alle drei statistisch signifikanten Faktoren so einfach in einer übersichtlichen Grafik dargestellt werden können, sind die beiden Aspekte Delay und Reanimationszeit in den Abb. 34 und 35 getrennt behandelt, die vier Graphen stellen jeweils die Verläufe bei PES 1-4 dar.

Die Reanimationszeit wurde in der Abb. 34 auf den durchschnittlichen Wert von 20 Minuten, das Delay in der Abb. 35 auf den durchschnittlichen Wert von 3 Minuten gesetzt.

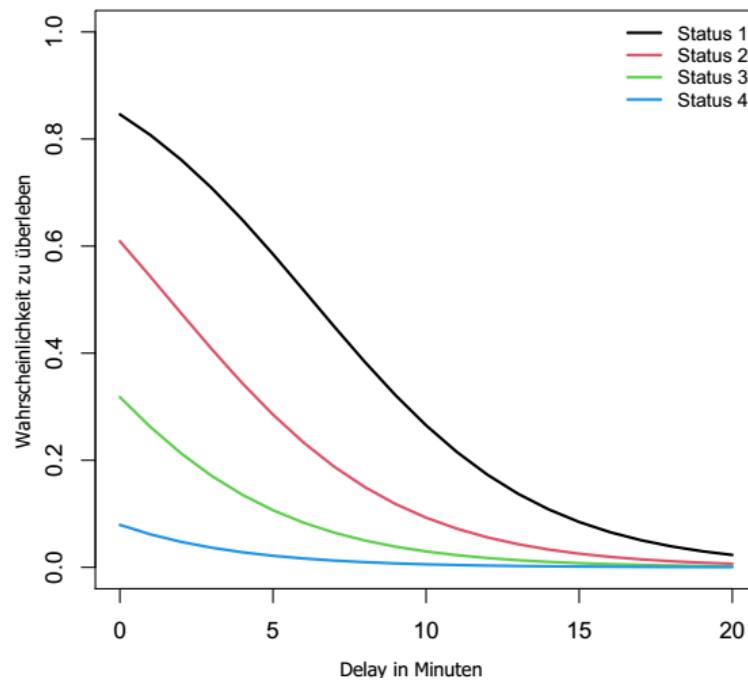


Abbildung 35: Delay und PES bei einer Reanimationszeit von 20min

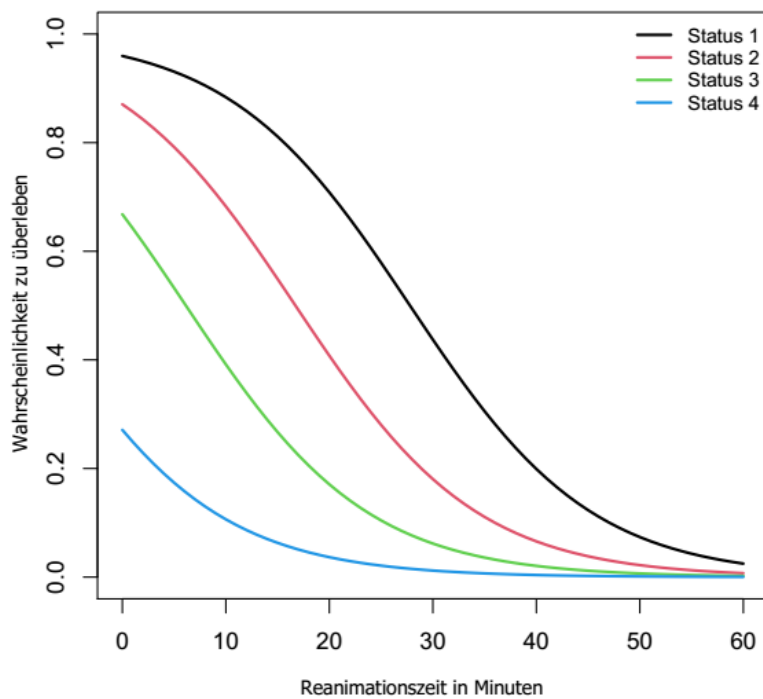


Abbildung 34: Reanimationszeit und PES bei einem Delay von 3 Minuten

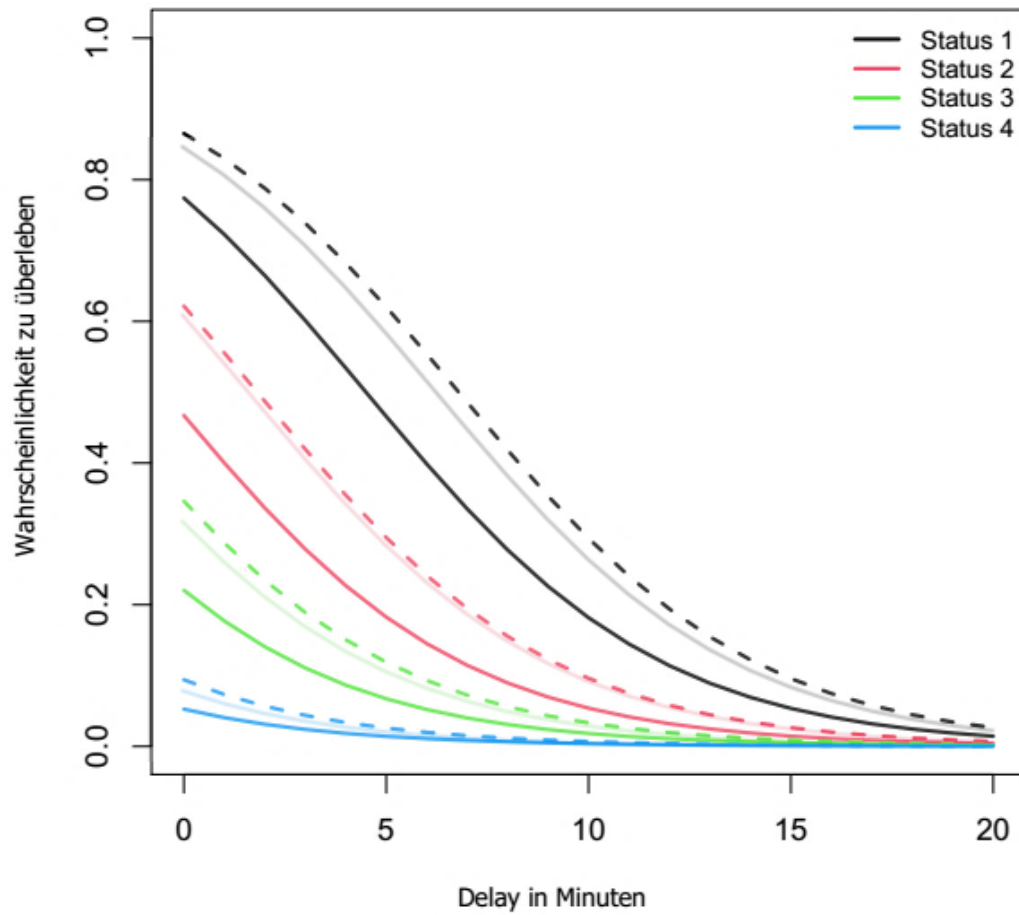


Abbildung 36: Pneumothorax ja/nein und gemittelte Kurve

Der Einfluss des Pneumothorax auf das Überleben ist mit einem p Wert von 0.304 nicht signifikant. In der folgenden Abb. 36 findet sich analog zur Abb. 34 eine Darstellung der Überlebenswahrscheinlichkeit bei zunehmendem Delay und der durchschnittlichen Reanimationszeit von 20 Minuten. Die gestrichelte Linie stellt dabei den Verlauf ohne Pneumothorax dar, die durchgezogene Linie mit Pneumothorax, dazwischen liegt (dargestellt durch die blasse Linie) der Verlauf der Gesamtpopulation aus Abb. 34.

3.3.2 Neurologisches Outcome

Zur Objektivierung des neurologischen Outcomes wurden die Daten des 5-Stufigen CPC Scores herangezogen. Aufgrund der aufsteigenden Häufigkeit der einzelnen CPC Scores (CPC 4 < CPC 1; siehe Abb. 24) wurde das Proportional Odds Logistic Regression Modell von McCullagh (1980) zur statistischen Analyse der beeinflussenden Faktoren verwendet. Implementiert in der R Bibliothek MASS von Venables und Ripley (2002), zeigen sich nach schrittweiser Reduktion der Einflussgrößen folgende, das neurologische Outcome signifikant beeinflussende, Faktoren:

- PES ($p = <0.001$)
- Delay ($p = <0.001$)
- Reanimationszeit ($p = <0.001$)

In der Literatur finden sich Studien, bei denen eine vereinfachte binäre Form des CPC Scores zur Objektivierung des neurologischen Outcomes verwendet wurde. CPC 1 und CPC 2 werden so als Kategorien mit einem guten neurologischen Outcome beschrieben (favorable Outcome) eine CPC 3, 4 und 5 als schlechter neurologischer Outcome (non-favorable Outcome) (77, 85). Vor allem die graphische Darstellung des Sachverhaltes wird durch diese Herangehensweise maßgeblich erleichtert.

Verwendet man wiederum ein logistisches Regressionsmodell für die Analyse, welche Einflussgrößen zu einem favorable Outcome bzw. non-favorable Outcome führen, finden sich wiederum die gleichen statistisch relevanten Einflussgrößen:

- PES ($p = <0.001$)
- Delay ($p = <0.001$)
- Reanimationszeit ($p = <0.001$)

In der Abb. 37 ist die Wahrscheinlichkeit eines favorablen Outcomes bei zunehmendem Delay und einer fixierten Reanimationszeit von 20 Minuten für PES 1-4 dargestellt, in Abb. 38 die Wahrscheinlichkeit bei zunehmender Reanimationszeit und fixiertem Delay von 3 Minuten.

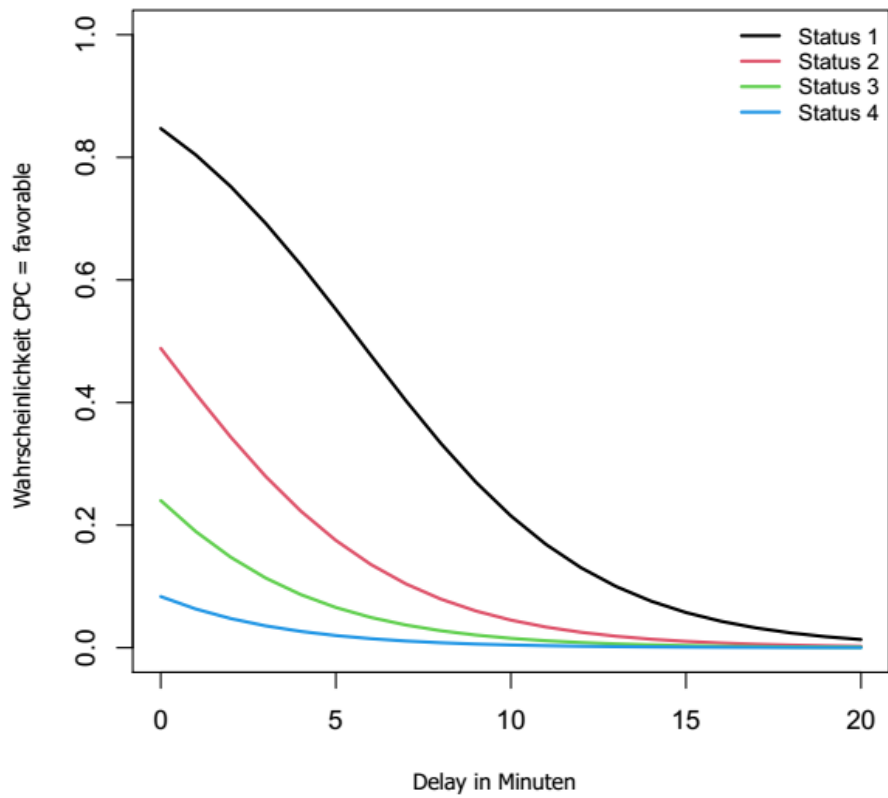


Abbildung 37: Wahrscheinlichkeit CPC favorable (Reanimationszeit = 20 Min.)

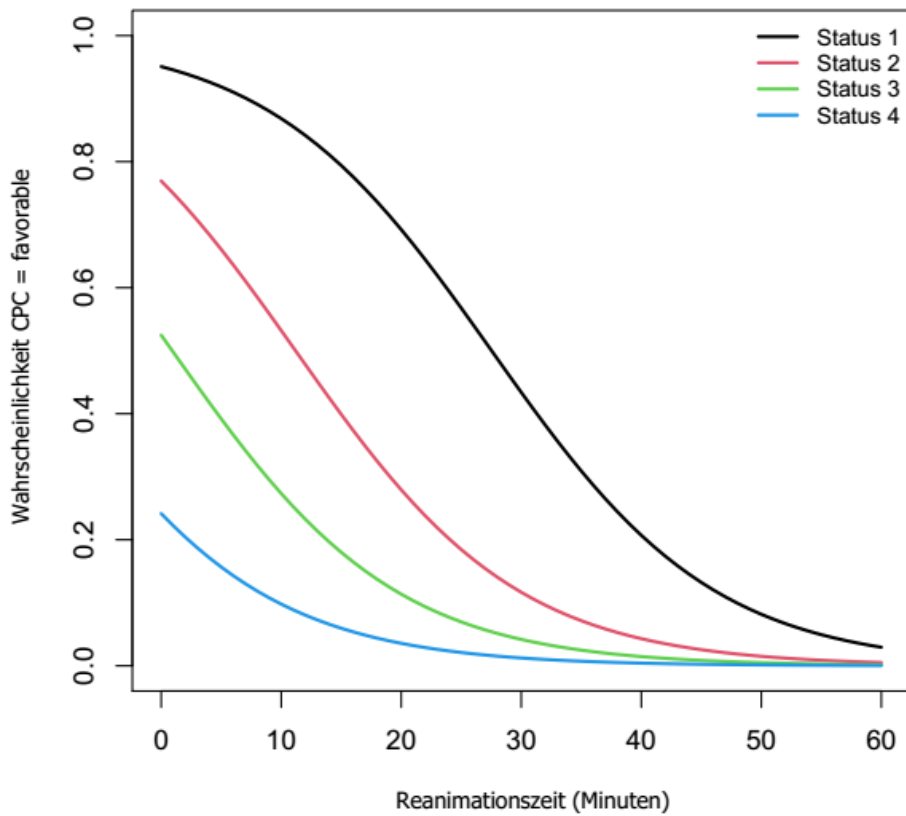


Abbildung 38: Wahrscheinlichkeit CPC favorable (Delay = 3 Min.)

3.3.3 Stay-Modell

Bei der Analyse von Faktoren, die die stationäre Aufenthaltsdauer (Stay) der Reanimierten beeinflussen, wurde aufgrund der schiefen Verteilung der Zeitwerte (Punkt 3.2.9) ein log-lineares Gammamodell verwendet. Nach schrittweiser Elimination von nicht-signifikanten Parametern konnte für folgende Faktoren ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden:

- PES ($p = 0.008$)
- Delay ($p = 0.002$)
- Reanimationszeit ($p = <0.001$)

Ein höherer PES ist mit einer Reduktion der Aufenthaltsdauer vergesellschaftet. Der Vergleich zwischen der Gruppe mit PES 1 und PES 4 ist hier sogar deutlich signifikant ($p = <0.0001$). Nimmt die Delay-Zeit oder die Reanimationszeit zu, so induziert beides jeweils eine signifikant geringere Aufenthaltsdauer. Grafisch aufbereitet ist das geschätzte Verhalten unter diesem Modell in der folgenden Abb. 39 (Reanimationszeit = 20 Minuten) und Abb. 40 (Delay = 3 Minuten).

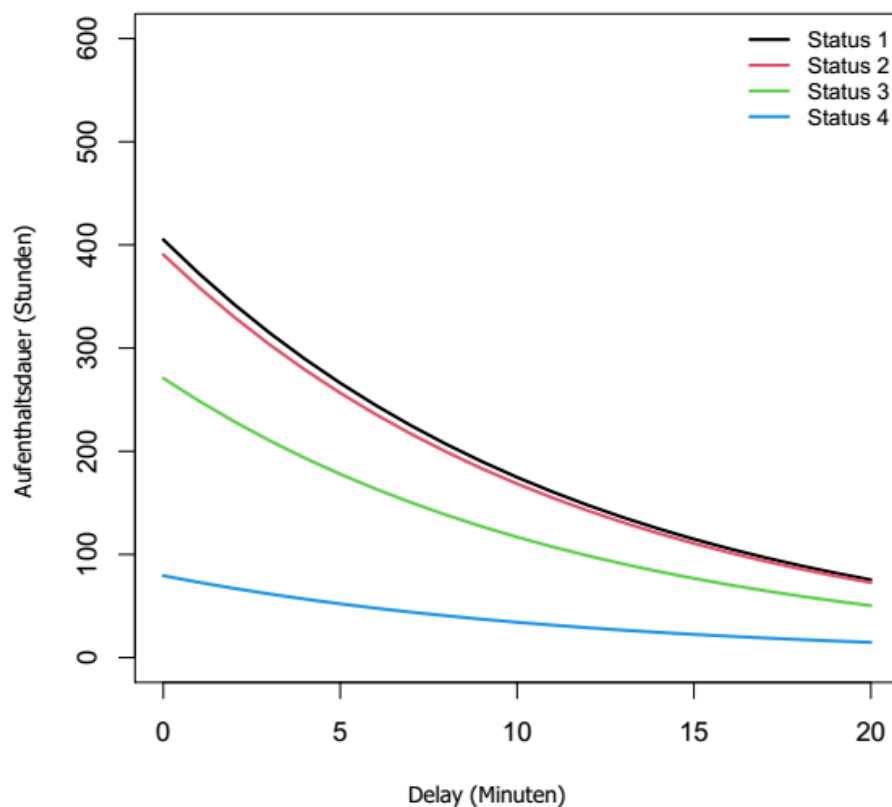


Abbildung 39: Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit vom Delay

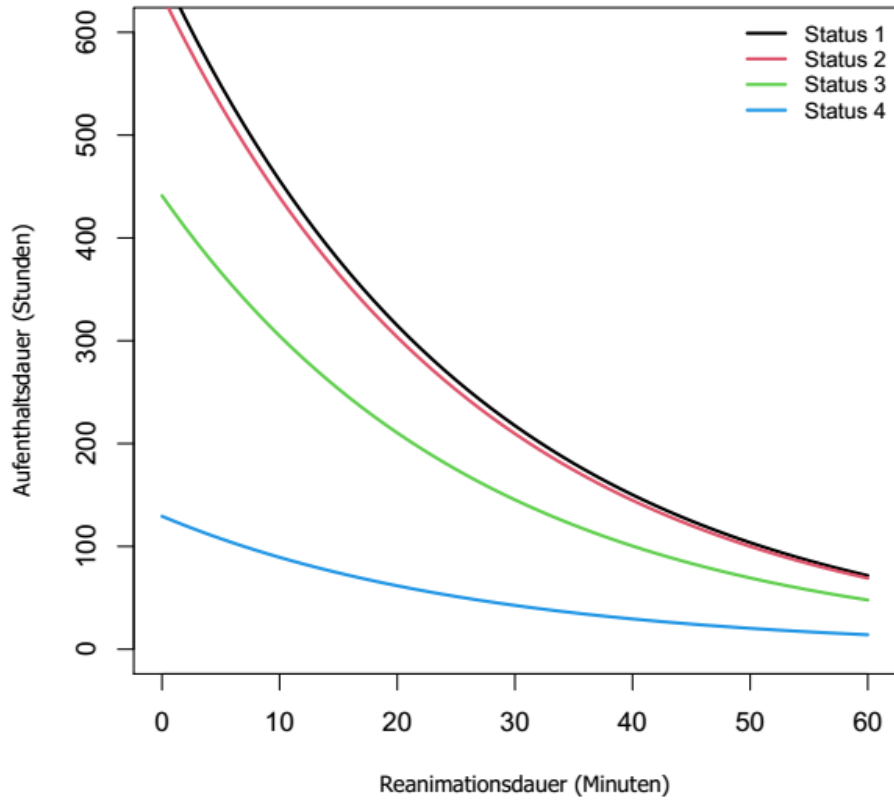


Abbildung 41: Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit von der Reanimationsdauer

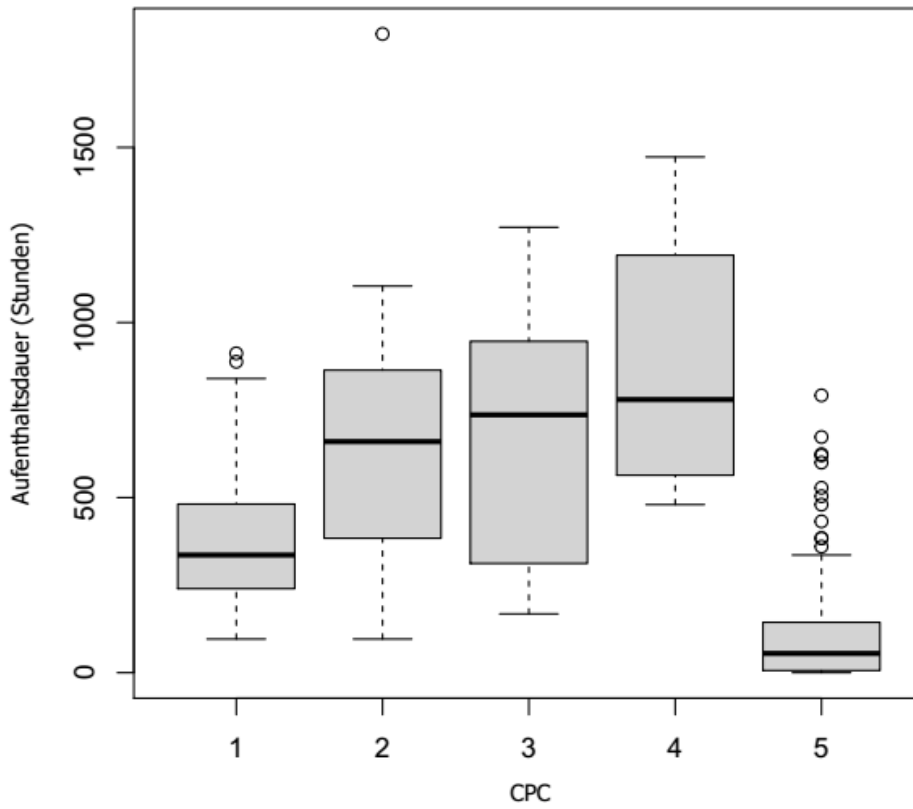


Abbildung 40: Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit von der CPC

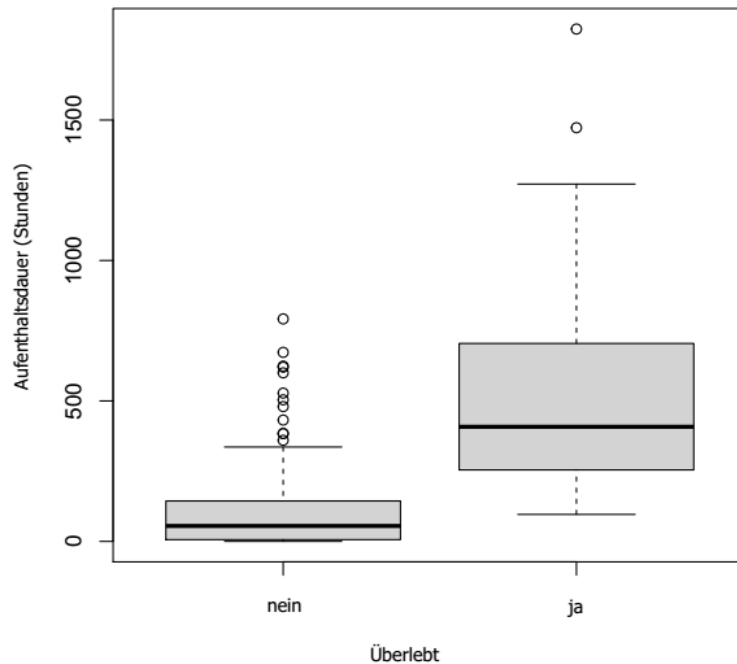


Abbildung 42: Aufenthaltsdauer und Überlebt ja/nein

Analysiert man die stationäre Aufenthaltsdauer der Reanimierten in Abhängigkeit zur CPC, so ist in Abb. 41 deutlich die längere Dauer mit höherer CPC Stufe (1-4) zu erkennen. Auffallend ist, dass die stationär Verstorbenen (CPC 5) mit Abstand die kürzeste Aufenthaltsdauer haben. Betrachtet man diesen Sachverhalt vereinfacht, indem man Überlebt ja/nein in Relation zur Aufenthaltsdauer stellt (Abb. 42), scheint es sinnvoll, das Stay-Modell auch nur für überlebende Personen auszuwerten. Für diese Fragestellung resultiert jedoch das Null Modell und es finden sich keine signifikanten Einflussgrößen.

3.4 Ursachenanalyse für das Auftreten eines Pneumothorax

Zur Analyse, welche der erfassten Faktoren (Alter, Geschlecht, PES, Lungenerkrankungen, Laienreanimation, Delay, präklinische Versorgungszeit, präklinische Reanimationsdauer) das Auftreten eines Pneumothorax begünstigen, wurde wiederum ein logistisches Regressionsmodell gewählt. Nach schrittweiser Elimination der Faktoren zeigte sich, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Pneumothorax bei vorhandener obstruktiver Lungenerkrankung signifikant höher liegt als bei nicht Erkrankten. ($p = 0.013$) Andere Faktoren beeinflussten das Auftreten eines Pneumothorax nicht signifikant.

4 Diskussion

4.1 Häufigkeiten

Betrachtet man das Outcome von 664 Reanimierten, die in den Jahren 2014-2019 im Grazer Reanimationsregister erfasst wurden, so erreichten 217 (33%) die klinische Versorgung. 9,1% überlebten den HKS und konnten aus dem Krankenhaus entlassen werden. Ähnliche Häufigkeiten finden sich mit 8% Überlebensrate in der EuReCa 2 Studie (3). Betrachtet man nun das neurologische Outcome des Studienkollektivs, so zeigt sich, dass 7,3% der Reanimierten das Krankenhaus mit einem guten neurologischen Outcome (CPC 1 oder 2) verlassen konnten. Zu beachten ist, dass diese Berechnung ohne die 42 Ausschlussfälle erfolgte.

Auch die Alters- und Geschlechterverteilung des Kollektivs entspricht in etwa jener der EuReCa 2 Studie, wenn auch mit einem etwas höheren Anteil von männlichen Reanimierten (72% im Studienkollektiv vs. 65% in der EuReCa 2 Studie). (3)

Blewer et al. kamen 2018 zum Ergebnis, dass im öffentlichen Raum mehr Männer als Frauen (45% vs. 39%) durch Laien reanimiert werden, im privaten Bereich blieb das Geschlechterverhältnis ausgewogen. Als möglicher Grund für die größere Anzahl der männlichen Reanimierten wird angeführt, dass Laien eher dazu tendieren, Patienten in der Öffentlichkeit zu reanimieren als Patientinnen (86). Da der Anteil von im öffentlichen Raum Reanimierten im Datensatz nur bei etwa 15% liegt, ist diese Erklärung nicht zufriedenstellend und es scheint die vorherrschende Annahme, dass bei männlichen Reanimierten mehr kardiologische Risikofaktoren vorliegen und Herzstillstände mit kardiologischer Ursache häufiger reanimiert werden, plausibler zu sein (87).

Angaben zum Delay oder No-Flow-Intervall als Zeit zwischen Kollaps und Beginn der Herzdruckmassage fanden sich in 166 der 176 Fälle. Im Mittel betrug dieses 3,2 Minuten. In der Diplomarbeit von B. Oberpeilsteiner, die eine umfangreiche Outcome-Analyse zu Herzkreislaufstillständen in Graz in den Jahren 2015-2016 durchführte und dabei alle Reanimationen und Todesfeststellungen in dieser Zeit einschloss, zeigten sich im Vergleich zu dieser Studie wesentlich längere No-Flow-Zeiten/Delays von im Mittel 8 Minuten. (88)

Der Grund für diese divergierende Delay-Werte ist das unterschiedliche Studienkollektiv. So bezieht sich das durchschnittliche Delay von 3,2 Minuten auf die positiv-Selektion der

Reanimierten, die einen ROSC hatten und lebend das Krankenhaus erreichten, während sich das Delay von 8 Minuten auf die Gesamtzahl der Reanimierten, inklusive der präklinisch Verstorbenen, bezieht. In diesem Sachverhalt bestätigt sich wiederum indirekt der Outcome beeinflussende Effekt eines kurzen Delays.

Delay und Laienreanimation sind zwei eng miteinander verknüpfte Faktoren. Ein früher Start der Herzdruckmassage und wenn möglich auch Defibrillation durch den Laien haben wesentlichen Einfluss auf das Outcome (24). Bei durchgeführter Laienreanimation (n=84) betrug das Delay im Mittel 1,6 Minuten, ohne Laienreanimation (n=92) waren es 4,3 Minuten. Somit konnte auch in diesem Datenkollektiv der wesentliche Delay-verkürzende Einfluss der Laienreanimation gezeigt werden (siehe Abb. 28 und 29).

Bei Betrachtung der stationären Aufenthaltsdauer und des Überlebens der Reanimierten zeigt sich, dass Patientinnen und Patienten vor allem in den ersten Stunden nach der Aufnahme versterben. Plausibel scheint, dass es sich hierbei um Reanimierte handelt, die mit einem instabilen ROSC das Krankenhaus erreichten und so beispielsweise noch im Herzkatheter verstarben (n=13). In die Stay-Analyse eingeschlossen wurden nur Fälle, die eine Bildgebung erhalten haben. Bei 25 Fällen, die keine Bildgebung erhielten und deshalb ausgeschlossen wurden, handelte es sich um Reanimierte, die innerhalb von Minuten nach der Aufnahme verstarben. In Abb. 43 findet sich eine grafische Darstellung der statistischen Aufenthaltszeit in Tagen bezogen auf die Gesamtpopulation von 201 Reanimierten.

Verstirbt ein Reanimierter, so geschieht das laut durchgeführter Studie zu 50% in den ersten 48h. Betrachtet man nun die Aufenthaltsdauer, ab der die Wahrscheinlichkeit zu überleben größer ist als die zu versterben, zeigt sich, dass von den Reanimierten am Tag 4 52% überlebten, am Tag 6 61%, am Tag 8 65% und am Tag 10 76%.

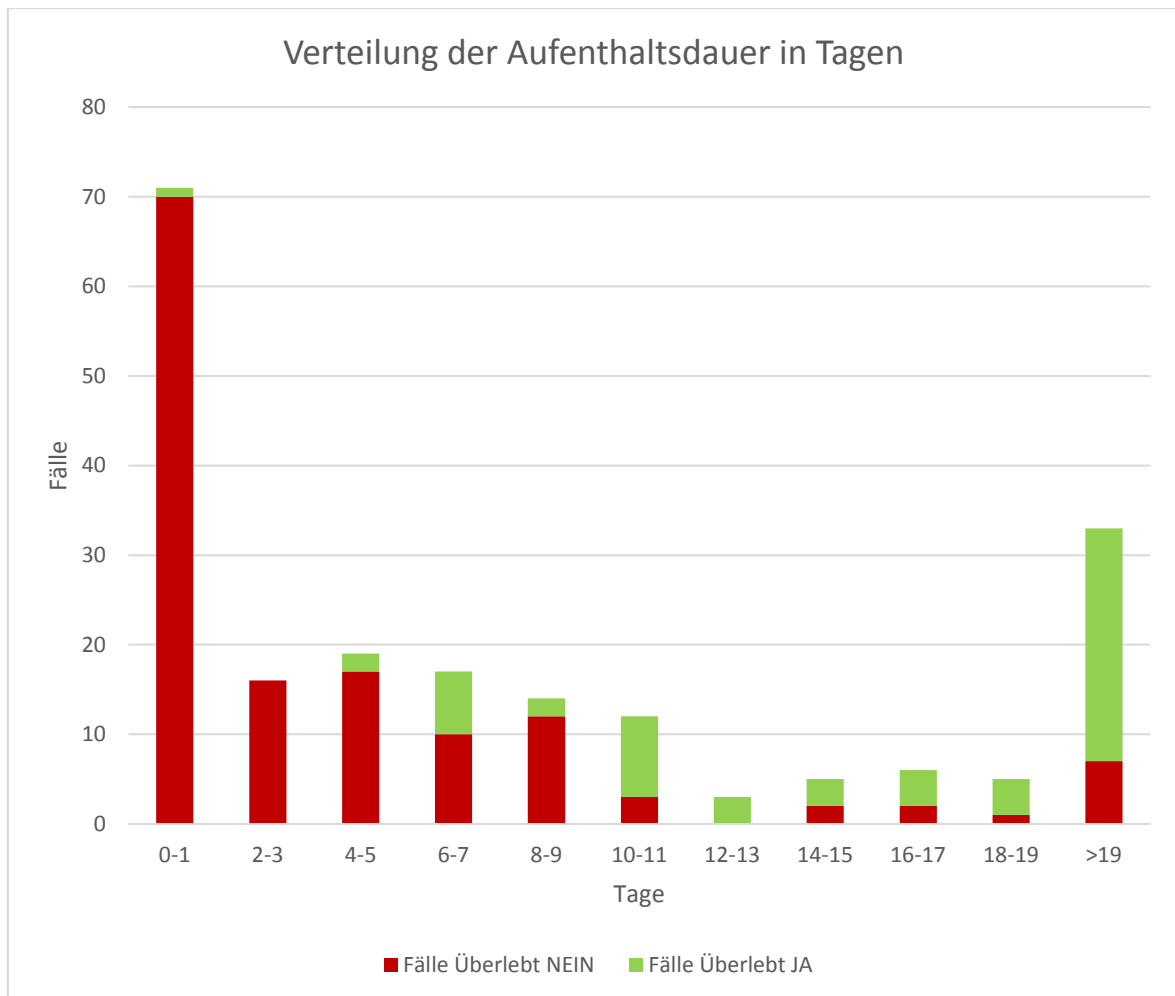


Abbildung 43: Stationäre Aufenthaltsdauer Überlebt Ja/Nein

4.2 Outcome-Analyse

Bemerkenswert ist, dass bei sämtlichen Outcome-Analysen (Überleben ja/nein, CPC 5-stufig, CPC favorable/non favorable, Stay-Modell) immer die gleichen drei Einflussgrößen PES, Delay und Reanimationszeit statistisch signifikant sind. Deutlich konnte gezeigt werden, dass die Wahrscheinlichkeit, überhaupt zu überleben bzw. mit gutem Outcome zu überleben, bei längerem Delay, längerer Reanimationszeit bzw. höherem PES deutlich geringer wird.

Dass das Alter der Reanimierten keinen relevanten Einfluss auf das Outcome nimmt, scheint verwunderlich, da man annehmen könnte, dass ältere Personen schon aus biologischen Gründen den HKS weniger oft überleben. Der PES scheint in unserer Studienpopulation somit den Gesundheitszustand wesentlich besser zu repräsentieren als das Alter. Im Studienkollektiv würde sich somit bestätigen, dass bei der Entscheidung, ob eine Reanimation begonnen wird, das Alter keine signifikante Einflussgröße darstellt.

Stellt man nun Überlegungen an, wie man das Outcome der Reanimierten anhand der statistisch relevanten Faktoren verbessern kann, so sind PES und Reanimationsdauer nicht wesentlich beeinflussbar. Betrachtet man die Verteilung der Reanimationsdauer in Abb. 31, so ist lediglich festzustellen, dass es zu einer deutlichen Abnahme der Anzahl durchgeführter Reanimationen ab einer Dauer von 30 Minuten kommt.

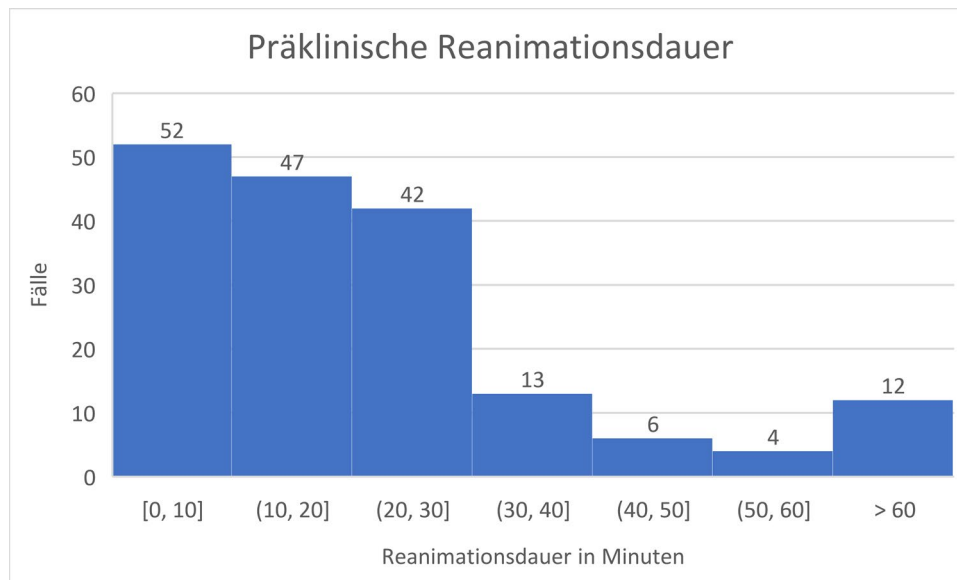


Abbildung 31: Verteilung der präklinischen Reanimationsdauer

Womöglich ist der Umkehrschluss erlaubt, dass Reanimationen über 30 Minuten im Studienkollektiv nicht erfasst wurden, weil die Patienten präklinisch verstarben bzw. weil eine Asystolie für mehr als 20 Minuten bei gleichzeitigem Fehlen von reversiblen Ursachen ein Grund ist, die Reanimationsmaßnahmen einzustellen. (6)

Das Delay ist ein Faktor, der wesentlich beeinflussbarer ist. Wie oben angeführt, kann eine durchgeführte Laienreanimation das Delay maßgeblich verkürzen (siehe Abb. 28). Immer wieder muss betont werden, wie wichtig es ist, Awareness in der Allgemeinbevölkerung zu schaffen und Projekte zu fördern, die den BLS vermitteln und zur Laienreanimation motivieren. Beispiele für Projekte dieser Art sind das First Responder System des Roten Kreuzes, die Initiative „Drück mich!“ der Arbeitsgemeinschaft für Notfallmedizin (AGN) (89), oder Smartphone-basierte Anwendungen wie die Mobile Retter App (90) und die Lebensretter-App (91).

4.3 Reanimationsassoziierter Pneumothorax

Ein Pneumothorax wurde bei 13,6% (n=24) der Fälle diagnostiziert, in 8,5% (n=15) war dieser interventionspflichtig und wurde mittels Drainage entlastet. Wie in Tabelle 3 dargestellt, variiert die in Studien angegebene Häufigkeit des Pneumothorax in der Reanimation sehr stark von 2-26%. Auch innerhalb einer gewählten Diagnosemethode (z.B. der CT) finden sich Angaben von 7,6-26%. Allgemein betrachtet scheint die Häufigkeit des Pneumothorax in der durchgeführten Studie mit den gewählten Diagnosemethoden doch über der bisher in der Literatur beschriebenen zu liegen. Grund dafür ist möglicherweise das Studiendesign der meisten in Tabelle 3 zitierten Studien, die sich allgemein mit der Thematik der Reanimations-assoziierten Verletzungen befassen und in denen der Pneumothorax keine Hauptzielgröße darstellte. In 6 Fällen wurde der Pneumothorax präklinisch drainiert, in 9 Fällen innerklinisch nach Aufnahme. Es stellt sich die Frage, ob sich der Pneumothorax bei diesen 9 Fällen erst im Verlauf/beim Transport entwickelte oder ob er präklinisch nicht erkannt wurde. Der standardmäßige Einsatz der Lungensonographie könnte hierbei maßgeblich dazu beitragen, den Pneumothorax noch früher zu diagnostizieren.

Das Ergebnis der Ursachenanalyse zum Faktum, dass der Pneumothorax signifikant häufiger bei Reanimierten mit obstruktiver Lungenerkrankung auftritt, legt nahe, dass es auch hier, wie unter Punkt 1.5.1.2.1 beschrieben, zur Ruptur der bei diesen Erkrankungen sehr häufig vorkommenden Blebs oder Bullae kommt und so ein durch die Reanimationsmaßnahme „provozierter“ sekundärer Pneumothorax vorliegt.

Laut einer anderen Hypothese spielen obstruktiven Lungenerkrankungen hingegen eine sekundäre Rolle. So könnten auch die Auswirkungen einer Überdruckbeatmung ausschlaggebend für das Auftreten des Pneumothorax sein, weil bei diesen Erkrankungen die Lungencompliance herabgesetzt ist (70). So haben beispielsweise obstruktive und entzündliche Lungenerkrankungen eine höhere Wahrscheinlichkeit für ein Barotrauma mit folgendem Pneumothorax (65). Beatmungsparameter wurden jedoch in die Ursachenanalyse nicht eingeschlossen und so kann zum Einfluss der Beatmung im Studienkollektiv keine Aussage getroffen werden.

Oft wird die Ätiologie des Pneumothorax mit Rippenfrakturen in Zusammenhang gebracht. Den Einfluss von Rippenfrakturen näher zu untersuchen, war in der durchgeführten Studie aufgrund der Heterogenität der bildgebenden Verfahren nicht möglich.

Wie schon unter Punkt 1.3 beschrieben, lässt sich schwer differenzieren, ob der Pneumothorax Ursache des HKS oder aber Komplikation des Reanimationsmaßnahmen ist. Die standardmäßige Anwendung der präklinischen Lungensonographie bei Reanimierten in einem prospektiven Studiendesign könnte, neben Daten zur tatsächlichen Häufigkeit des Pneumothorax, auch Erkenntnisse über seine Rolle als Ursache oder Komplikation des HKS bringen. Konkret könnte hier der Zeitpunkt der Diagnosestellung am Anfang der Reanimation eher für einen ursächlichen Sachverhalt sprechen, ein Auftreten im weiteren Verlauf bei anfänglich negativer Sonographie eher für einen Pneumothorax als Komplikation der Reanimationsmaßnahmen.

In den S3 Leitlinien Spontanpneumothorax der DGT 2018 finden sich Angaben zu einer Letalität von bis zu 10% bei 80-jährigen Patientinnen und Patienten mit primärem Spontanpneumothorax und auch eine deutlich längere stationäre Aufenthaltsdauer und Letalität beim sekundären Spontanpneumothorax (37). Auch wenn die graphische Darstellung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Reanimierten mit und ohne Pneumothorax (Abb. 36) ein anderes Ergebnis suggeriert, stellt ein Pneumothorax mit einem p-Wert von 0.304 keinen signifikanten Einflussfaktor auf das Outcome der Reanimierten dar.

Ob nun der Pneumothorax in der Reanimation tatsächlich keinen signifikanten Effekt auf Überleben und Outcome der Reanimierten hat oder dieser im durchgeführten Studiendesign nicht ausreichend erfasst werden konnte, bleibt offen. So liegt die Schwierigkeit, diesen Sachverhalt zu beforschen einerseits in den Hürden der Reanimationsforschung im Allgemeinen (Datenerfassung und Datenqualität, Fallzahlen, Objektivierung von Prozessen), andererseits auch in der Erfassung der Diagnose Pneumothorax an sich. Es ist zu bedenken, dass Pneumothorax-Fälle bei präklinisch Verstorbenen nicht erfasst wurden und somit eine gewisse Outcome-Selektion vorliegt.

4.4 Datenqualität und Limitationen

Limitationen finden sich, bedingt durch das retrospektive Studiendesign, vor allem in der Datenerfassung: so muss in Bezug auf die Berechnung der Reanimationszeit erwähnt werden, dass bei einer kleinen Anzahl von Patientinnen und Patienten, die erneut reanimationspflichtig wurden, keine „kumulative Reanimationszeit“ errechnet werden konnte. Das liegt daran, dass in den Protokollen immer nur die Zeit des ersten ROSC angegeben wird.

Ein Selektions-Bias bezüglich der Outcome-Analyse stellt der Ausschluss von jene 25 Fällen dar, die, zumeist wegen eines frühen Versterbens, keine Bildgebung erhalten haben und somit Fälle mit einem besonders schlechten Outcome darstellten. Weiters fanden Einflussfaktoren wie der initiale EKG Rhythmus und die Informationen zu durchgeführten Defibrillationen bzw. Medikamentengaben keinen Eingang in die Outcome-Analyse.

Allgemeine Kritikpunkte am CPC Score betreffen vor allem seine nicht standardisierte Erfassung, der oft nur eine oberflächliche Beurteilung zugrunde liegt. Zumeist erfolgt das durch ein kurzes Gespräch mit der Pflege oder aber retrospektiv durch die Einschätzung anhand der Aufenthaltsortes nach Entlassung (z.B. Rehasentrum, Pflegeheim oder häusliches Umfeld) (85). Es wurde gezeigt, dass bei alleiniger Einsicht des Entlassungsbriefes bzw. der letzten Dekurseinträge oft eine höhere CPC zugeteilt wurde, als wenn umfassende Informationen aus dem gesamten Aufenthalt verwendet wurden (92). So erfolgte auch bei den in das Reanimationsregister eingespielten CPC Scores die Erhebung zumeist durch nicht in den Behandlungsprozess Eingebundene und v.a. mittels Sichtung dieser Entlassungsbriefe und Dekurse.

Bei Vergabe der Kategorien durch zwei unabhängige Stellen, zeigte sich, dass 22% der CPC Einschätzungen nicht übereinstimmten. Besonders betroffen ist die Einschätzung von Patientinnen und Patienten mit schlechtem Outcome, nicht kardiologischer Ätiologie des HKS und einer Entlassung, die nicht nach Hause erfolgte (93). Auch bei Vergleich mit anderen Outcome-Scores wie der mRS (modified Rankin Scale) zeigen sich große Unterschiede. Die Entwicklung eines genaueren standardisierten Tools zur Einschätzung des neurologischen Outcomes wäre sinnvoll (94).

Bezüglich der Recherche von pulmonalen Vorerkrankungen ist limitierend zu erwähnen, dass ihre Erfassung nur mittels der im MEDOCS kodierte Gesamtdiagnosen erfolgte. Somit wurden Reanimierte mit pulmonalen Erkrankungen, die ausschließlich durch niedergelassen Ärztinnen und Ärzte bzw. nicht ans MEDOCS gekoppelte Institutionen behandelt wurden, nicht erfasst.

4.5 *Conclusio*

Im Studienkollektiv fand sich bei 13,6% (n=24) der Reanimierten ein Pneumothorax, in 8,5% (n=15) war dieser interventionspflichtig. Zusammenfassend ergibt sich somit die Empfehlung, bei Reanimierten mit obstruktiven Lungenerkrankungen besonders genau auf das Auftreten eines Pneumothorax zu achten und die präklinische Lungensonographie breit einzusetzen.

Auch wenn im Studienkollektiv kein signifikanter Effekt des Pneumothorax auf das Überleben von Reanimierten nach ROSC gezeigt werden konnte, bleiben Einfluss und Häufigkeit des Pneumothorax beim präklinisch nicht erfolgreich Reanimierten unklar. In der weiteren Beforschung dieses Sachverhaltes könnte ein prospektives Studiendesign mit einem standardisiert durchgeführten präklinischen Ultraschallprotokoll weitere Erkenntnisse bringen. Eine solche Studie im Reanimationssetting mit limitierten Ressourcen präklinisch durchzuführen, stellt eine große organisatorische Herausforderung dar. Auch wenn es praktikabler wäre, das Studienmodell vorerst innerklinisch durchzuführen, sind die Umstände, Abläufe und Ursachen des präklinischen HKS mit dem innerklinischen HKS wenig vergleichbar.

Ein gutes neurologische Überleben (CPC 1 und 2), wie es 7,3% der präklinisch Reanimierten im Grazer Reanimationsregister erreichten, stellt das wesentliche Ziel der Reanimationsmaßnahmen dar. In der hier vorgelegten Studie konnte der positive Einfluss eines kurzen Delays auf das Überleben gezeigt werden. Die Laienreanimation stellt hierbei die beste Möglichkeit dar das Delay zu verkürzen und das Überleben von Reanimierten signifikant zu verbessern.

Literaturverzeichnis

1. Klopp M, Dienemann H, Hoffmann H. Behandlung des Pneumothorax. *Chirurg* 2007; 78(7):655–68. doi: 10.1007/s00104-007-1358-9.
2. Pschyrembel Online | Herz-Kreislauf-Stillstand; 2021 [Stand: 12.05.2021]. Verfügbar unter: <https://www.pschyrembel.de/Herz-Kreislauf-Stillstand/K09QK/doc/>.
3. Gräsner J-T, Wnent J, Herlitz J, Perkins GD, Lefering R, Tjelmeland I et al. Survival after out-of-hospital cardiac arrest in Europe - Results of the EuReCa TWO study. *Resuscitation* 2020; 148:218–26. doi: 10.1016/j.resuscitation.2019.12.042.
4. Retten SEL. Deutsches Reanimationsregister; 2021 [Stand: 13.06.2021]. Verfügbar unter: <https://www.reanimationsregister.de/>.
5. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djärv T et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation* 2021; 161:115–51. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.010.
6. Soar J, Nolan JP, Böttiger BW, Perkins GD, Lott C, Carli P et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 3. Adult advanced life support. *Resuscitation* 2015; 95:100–47. doi: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.016.
7. Panchal AR, Bartos JA, Cabañas JG, Donnino MW, Drennan IR, Hirsch KG et al. Part 3: Adult Basic and Advanced Life Support: 2020 American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation* 2020; 142:S366-S468. doi: 10.1161/CIR.0000000000000916.
8. Durila M. Reversible causes of cardiac arrest 4 "Ts" and 4 "Hs" can be easily diagnosed and remembered following general ABC rule, Motol University Hospital approach. *Resuscitation* 2018; 126:e7. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.03.013.
9. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW, Cariou A, Cronberg T, Friberg H et al. European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine Guidelines 2021: Post-resuscitation care. *Resuscitation* 2021; 161:220–69. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.012.

10. Patterson RH, Burns WA, Jannotta FS. Complications of external cardiac resuscitation: a retrospective review and survey of the literature. *Med Ann Dist Columbia* 1974; 43(8):389–94.
11. Krischer JP, Fine EG, Davis JH, Nagel EL. Complications of cardiac resuscitation. *Chest* 1987; 92(2):287–91. doi: 10.1378/chest.92.2.287.
12. Tomlinson AE, Nysaether J, Kramer-Johansen J, Steen PA, Dorph E. Compression force-depth relationship during out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2007; 72(3):364–70. doi: 10.1016/j.resuscitation.2006.07.017.
13. Olds K, Byard RW, Langlois NEI. Injuries associated with resuscitation - An overview. *J Forensic Leg Med* 2015; 33:39–43. doi: 10.1016/j.jflm.2015.04.003.
14. Buschmann CT, Tsokos M. Frequent and rare complications of resuscitation attempts. *Intensive Care Med* 2009; 35(3):397–404. doi: 10.1007/s00134-008-1255-9.
15. Dunham GM, Perez-Girbes A, Bolster F, Sheehan K, Linnau KF. Use of whole body CT to detect patterns of CPR-related injuries after sudden cardiac arrest. *Eur Radiol* 2018; 28(10):4122–7. doi: 10.1007/s00330-017-5117-0.
16. Miller AC, Rosati SF, Suffredini AF, Schrumpp DS. A systematic review and pooled analysis of CPR-associated cardiovascular and thoracic injuries. *Resuscitation* 2014; 85(6):724–31. doi: 10.1016/j.resuscitation.2014.01.028.
17. Kralj E, Podbregar M, Kejžar N, Balažic J. Frequency and number of resuscitation related rib and sternum fractures are higher than generally considered. - PubMed - NCBI. *Resuscitation* 2015; 93:136–41 [Stand: 06.01.2020]. Verfügbar unter: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25771500>.
18. Schulze C, Hoppe H, Schweitzer W, Schwendener N, Grabherr S, Jackowski C. Rib fractures at postmortem computed tomography (PMCT) validated against the autopsy. *Forensic Sci Int* 2013; 233(1-3):90–8. doi: 10.1016/j.forsciint.2013.08.025.
19. Kashiwagi Y, Sasakawa T, Tampo A, Kawata D, Nishiura T, Kokita N et al. Computed tomography findings of complications resulting from cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2015; 88:86–91. doi: 10.1016/j.resuscitation.2014.12.022.
20. Lederer W, Mair D, Rabl W, Baubin M. Frequency of rib and sternum fractures associated with out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation is underestimated by

- conventional chest X-ray. *Resuscitation* 2004; 60(2):157–62. doi: 10.1016/j.resuscitation.2003.10.003.
21. Kaldırım U, Toygar M, Karbeyaz K, Arzıman I, Tuncer SK, Eyi YE et al. Complications of cardiopulmonary resuscitation in non-traumatic cases and factors affecting complications. *Egyptian Journal of Forensic Sciences* 2016; 6(3):270–4. doi: 10.1016/j.ejfs.2015.07.005.
 22. Beom JH, You JS, Kim MJ, Seung MK, Park YS, Chung HS et al. Investigation of complications secondary to chest compressions before and after the 2010 cardiopulmonary resuscitation guideline changes by using multi-detector computed tomography: a retrospective study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2017; 25(1):8. doi: 10.1186/s13049-017-0352-6.
 23. Ihnát Rudinská L, Hejna P, Ihnát P, Tomášková H, Smatanová M, Dvořáček I. Intra-thoracic injuries associated with cardiopulmonary resuscitation - Frequent and serious. *Resuscitation* 2016; 103:66–70. doi: 10.1016/j.resuscitation.2016.04.002.
 24. Olasveengen TM, Semeraro F, Ristagno G, Castren M, Handley A, Kuzovlev A et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Basic Life Support. *Resuscitation* 2021; 161:98–114. doi: 10.1016/j.resuscitation.2021.02.009.
 25. Hoke RS, Chamberlain D. Skeletal chest injuries secondary to cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2004; 63(3):327–38. doi: 10.1016/j.resuscitation.2004.05.019.
 26. Yang K-M, Lynch M, O'Donnell C. "Buckle" rib fracture: an artifact following cardiopulmonary resuscitation detected on postmortem CT. *Leg Med (Tokyo)* 2011; 13(5):233–9. doi: 10.1016/j.legalmed.2011.05.004.
 27. Buschmann CT, Tsokos M, Kleber C. Tension pneumothorax in unsuccessful cardiopulmonary resuscitation. *RJLM* 2014; 22(4):221–3. doi: 10.4323/rjlm.2014.221.
 28. Kim MJ, Park YS, Kim SW, Yoon YS, Lee KR, Lim TH et al. Chest injury following cardiopulmonary resuscitation: a prospective computed tomography evaluation. *Resuscitation* 2013; 84(3):361–4. doi: 10.1016/j.resuscitation.2012.07.011.
 29. Boland LL, Satterlee PA, Hokanson JS, Strauss CE, Yost D. Chest Compression Injuries Detected via Routine Post-arrest Care in Patients Who Survive to Admission

- after Out-of-hospital Cardiac Arrest. *Prehosp Emerg Care* 2015; 19(1):23–30. doi: 10.3109/10903127.2014.936636.
30. Betz S, Sassen M, Beutel B, Jerrentrup A, Kill C. Pneumothorax in out-of-hospital resuscitation: The need for early diagnostics in a cardiac arrest center. *Resuscitation* 2018; 130:e3. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.07.042.
 31. Champigneulle B, Haruel PA, Pirracchio R, Dumas F, Geri G, Arnaout M et al. Major traumatic complications after out-of-hospital cardiac arrest: Insights from the Parisian registry. *Resuscitation* 2018; 128:70–5. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.04.022.
 32. Viniol S, Thomas RP, König AM, Betz S, Mahnken AH. Early whole-body CT for treatment guidance in patients with return of spontaneous circulation after cardiac arrest. *Emerg Radiol* 2020; 27(1):23–9. doi: 10.1007/s10140-019-01723-x.
 33. Autschbach R, Amerini A, Spillner J. Chirurgie in 5 Tagen. In: Autschbach R, Jacobs M, Neumann UP, Hrsg. *Chirurgie in 5 Tagen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012. S. 30–50 (Springer-Lehrbuch).
 34. Smith JA, Secombe P, Aromataris E. Effectiveness and safety of conservative management of occult pneumothorax in mechanically ventilated patients: a systematic review protocol. *JBISRIR-D-19-00196*. doi: 10.11124/JBISRIR-D-19-00196.
 35. Jameson JL, Fauci A, Kasper D, Hauser S, Longo D, Loscalzo J. *Harrison's Principles of Internal Medicine 19th Edition and Harrison's Manual of Medicine 19th Edition VAL PAK*. 19th edition. New York: McGraw-Hill Medical; 2017.
 36. Sahn SA, Heffner JE. Spontaneous pneumothorax. *N Engl J Med* 2000; 342(12):868–74. doi: 10.1056/NEJM200003233421207.
 37. Deutsche Gesellschaft für Thoraxchirurgie (DGT). *S3-Leitlinie: Diagnostik und Therapie von Spontanpneumothorax und postinterventionellem Pneumothorax* 2018.
 38. Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie. *S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung* 2016.
 39. Ziegenfuß T. *Notfallmedizin*. 5., überarbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011. (Springer-Lehrbuch). Verfügbar unter: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10497099>.

40. Truhlář A, Deakin CD, Soar J, Khalifa GEA, Alfonzo A, Bierens JJLM et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 4. Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* 2015; 95:148–201. doi: 10.1016/j.resuscitation.2015.07.017.
41. Chen SC, Markmann JF, Kauder DR, Schwab CW. Hemopneumothorax missed by auscultation in penetrating chest injury. *J Trauma* 1997; 42(1):86–9. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9003263/>.
42. Scholz J. *Notfallmedizin*. 3. Aufl. s.l.: Georg Thieme Verlag KG; 2013. Verfügbar unter: <http://ebooks.thieme.de/9783131127839>.
43. Charbit J, Millet I, Maury C, Conte B, Roustan J-P, Taourel P et al. Prevalence of large and occult pneumothoraces in patients with severe blunt trauma upon hospital admission: experience of 526 cases in a French level 1 trauma center. *Am J Emerg Med* 2015; 33(6):796–801. doi: 10.1016/j.ajem.2015.03.057.
44. Moore FO, Goslar PW, Coimbra R, Velmahos G, Brown CVR, Coopwood TB et al. Blunt traumatic occult pneumothorax: is observation safe?--results of a prospective, AAST multicenter study. *J Trauma* 2011; 70(5):1019-23; discussion 1023-5. doi: 10.1097/TA.0b013e318213f727.
45. Madler C, Hrsg. *Akutmedizin - Die ersten 24 Stunden: Das NAW-Buch*. 4. überarb. Aufl. München: Urban & Fischer in Elsevier; 2009. Verfügbar unter: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9783437225116>.
46. Tocino IM, Miller MH, Fairfax WR. Distribution of pneumothorax in the supine and semirecumbent critically ill adult. *AJR Am J Roentgenol* 1985; 144(5):901–5. doi: 10.2214/ajr.144.5.901.
47. Mathis G. Einsatz der Lungen- und Pleurasonographie in der Notfall- und Intensivmedizin. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2019; 114(6):504–8. doi: 10.1007/s00063-019-0596-1.
48. Zechner PM, Seibel A, Aichinger G, Steigerwald M, Dorr K, Scheiermann P et al. Lungensonographie in der Akut- und Intensivmedizin. *Anaesthesist* 2012; 61(7):608–17.

49. Lichtenstein D, Mezière G, Biderman P, Gepner A. The "lung point": an ultrasound sign specific to pneumothorax: Springer; 2014 [Stand: 02.01.2020]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/article/10.1007/s001340000627>.
50. Galbois A, Ait-Oufella H, Baudel J-L, Kofman T, Bottero J, Viennot S et al. Pleural ultrasound compared with chest radiographic detection of pneumothorax resolution after drainage. *Chest* 2010; 138(3):648–55. doi: 10.1378/chest.09-2224.
51. Volpicelli G. Sonographic diagnosis of pneumothorax. *Intensive Care Med* 2011; 37(2):224–32. doi: 10.1007/s00134-010-2079-y.
52. Saadah Alrajab, Asser M Youssef, Nuri I Akkus, Gloria Caldito. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Crit Care* 2013; 17(5):1–8. doi: 10.1186/cc13016.
53. Volpicelli G. Usefulness of emergency ultrasound in nontraumatic cardiac arrest. *Am J Emerg Med* 2011; 29(2):216–23. doi: 10.1016/j.ajem.2009.03.018.
54. News Papers. Nadeldekompression bei Pneumothorax, Monaldi ist raus!; 2018 [Stand: 27.07.2021]. Verfügbar unter: <https://news-papers.eu/?p=8417>.
55. Kaserer A, Stein P, Simmen H-P, Spahn DR, Neuhaus V. Failure rate of prehospital chest decompression after severe thoracic trauma. *Am J Emerg Med* 2017; 35(3):469–74. doi: 10.1016/j.ajem.2016.11.057.
56. Massarutti D, Trillò G, Berlot G, Tomasini A, Bacer B, D'Orlando L et al. Simple thoracostomy in prehospital trauma management is safe and effective: a 2-year experience by helicopter emergency medical crews. *Eur J Emerg Med* 2006; 13(5):276–80. doi: 10.1097/00063110-200610000-00006.
57. Chang SJ, Ross SW, Kiefer DJ, Anderson WE, Rogers AT, Sing RF et al. Evaluation of 8.0-cm needle at the fourth anterior axillary line for needle chest decompression of tension pneumothorax. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; 76(4):1029–34. doi: 10.1097/TA.0000000000000158.
58. Clemency BM, Tanski CT, Rosenberg M, May PR, Consiglio JD, Lindstrom HA. Sufficient catheter length for pneumothorax needle decompression: a meta-analysis. *Prehosp Disaster Med* 2015; 30(3):249–53. doi: 10.1017/S1049023X15004653.

59. Bobbio A, Dechartres A, Bouam S, Damotte D, Rabbat A, Régnard J-F et al. Epidemiology of spontaneous pneumothorax: gender-related differences. *Thorax* 2015; 70(7):653–8. doi: 10.1136/thoraxjnl-2014-206577.
60. Black CJ, Busuttill A, Robertson C. Chest wall injuries following cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation* 2004; 63(3):339–43. doi: 10.1016/j.resuscitation.2004.07.005.
61. Perers E, Abrahamsson P, Bång A, Engdahl J, Lindqvist J, Karlson BW et al. There is a difference in characteristics and outcome between women and men who suffer out of hospital cardiac arrest. *Resuscitation* 1999; 40(3):133–40. doi: 10.1016/S0300-9572(99)00022-2.
62. Oya S, Shinjo T, Fujii Y, Kamo J, Teruya H, Kinoshita H. CPR related thoracic injury: a comparison of CPR guidelines between 2005 and 2010. *Acute Med Surg* 2016; 3(4):351–5. doi: 10.1002/ams2.215.
63. Donahue DM, Wright CD, Viale G, Mathisen DJ. Resection of pulmonary blebs and pleurodesis for spontaneous pneumothorax. *Chest* 1993; 104(6):1767–9. doi: 10.1378/chest.104.6.1767.
64. Lesur O, Delorme N, Fromaget JM, Bernadac P, Polu JM. Computed tomography in the etiologic assessment of idiopathic spontaneous pneumothorax. *Chest* 1990; 98(2):341–7. doi: 10.1378/chest.98.2.341.
65. Gammon RB, Shin MS, Buchalter SE. Pulmonary barotrauma in mechanical ventilation. Patterns and risk factors. *Chest* 1992; 102(2):568–72. doi: 10.1378/chest.102.2.568.
66. Wolfman NT, Myers WS, Glauser SJ, Meredith JW, Chen MY. Validity of CT classification on management of occult pneumothorax: a prospective study. *AJR Am J Roentgenol* 1998; 171(5):1317–20. doi: 10.2214/ajr.171.5.9798871.
67. Brasel KJ, Stafford RE, Weigelt JA, Tenquist JE, Borgstrom DC. Treatment of occult pneumothoraces from blunt trauma. *J Trauma* 1999; 46(6):987-90; discussion 990-1. doi: 10.1097/00005373-199906000-00001.
68. Hill SL, Edmisten T, Holtzman G, Wright A. The occult pneumothorax: an increasing diagnostic entity in trauma. *Am Surg* 1999; 65(3):254–8.

69. Enderson BL, Abdalla R, Frame SB, Casey MT, Gould H, Maull KI. Tube thoracostomy for occult pneumothorax: a prospective randomized study of its use. *J Trauma* 1993; 35(5):726-9; discussion 729-30.
70. Hsu C-W, Sun S-F. Iatrogenic pneumothorax related to mechanical ventilation. *World J Crit Care Med* 2014; 3(1):8–14. doi: 10.5492/wjccm.v3.i1.8.
71. Baubin M, Rabl W, Pfeiffer K, Benzer A, Gilly H. Chest injuries after active compression–decompression cardiopulmonary resuscitation (ACD-CPR) in cadavers. *Resuscitation* 1999; 43(1):9–15. doi: 10.1016/S0300-9572(99)00110-0.
72. Cho SH, Kim EY, Choi SJ, Kim YK, Sung YM, Choi H-Y et al. Multidetector CT and radiographic findings of lung injuries secondary to cardiopulmonary resuscitation. *Injury* 2013; 44(9):1204–7. doi: 10.1016/j.injury.2012.10.004.
73. Gräsner J-T, Meybohm P, Lefering R, Wnent J, Bahr J, Messelken M et al. ROSC after cardiac arrest--the RACA score to predict outcome after out-of-hospital cardiac arrest. *Eur Heart J* 2011; 32(13):1649–56. doi: 10.1093/eurheartj/ehr107.
74. Xue J-K, Leng Q-Y, Gao Y-Z, Chen S-Q, Li Z-P, Li H-P et al. Factors influencing outcomes after cardiopulmonary resuscitation in emergency department. *World J Emerg Med* 2013; 4(3):183–9. doi: 10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2013.03.005.
75. Kragholm K, Wissenberg M, Mortensen RN, Hansen SM, Malta Hansen C, Thorsteinsson K et al. Bystander Efforts and 1-Year Outcomes in Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *N Engl J Med* 2017; 376(18):1737–47. doi: 10.1056/NEJMoa1601891.
76. Wissenberg M, Lippert FK, Folke F, Weeke P, Hansen CM, Christensen EF et al. Association of national initiatives to improve cardiac arrest management with rates of bystander intervention and patient survival after out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA* 2013; 310(13):1377–84. doi: 10.1001/jama.2013.278483.
77. Nürnberger A, Sterz F, Malzer R, Warenits A, Girska M, Stöckl M et al. Out of hospital cardiac arrest in Vienna: incidence and outcome. *Resuscitation* 2013; 84(1):42–7. doi: 10.1016/j.resuscitation.2012.07.002.
78. Welbourn C, Efstathiou N. How does the length of cardiopulmonary resuscitation affect brain damage in patients surviving cardiac arrest? A systematic review. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2018; 26(1):77. doi: 10.1186/s13049-018-0476-3.

79. Reynolds JC, Grunau BE, Rittenberger JC, Sawyer KN, Kurz MC, Callaway CW. Association Between Duration of Resuscitation and Favorable Outcome After Out-of-Hospital Cardiac Arrest: Implications for Prolonging or Terminating Resuscitation. *Circulation* 2016; 134(25):2084–94. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.023309.
80. Balzer H. Validierung eines Scores zur Einschätzung des Vorerkrankungszustandes von Patienten im akuten prähospitalen Notarzteeinsatz. Berlin: Charité - Universitätsmedizin Berlin; 2019.
81. Idris AH, Bierens JJLM, Perkins GD, Wenzel V, Nadkarni V, Morley P et al. 2015 revised Utstein-style recommended guidelines for uniform reporting of data from drowning-related resuscitation: An ILCOR advisory statement. *Resuscitation* 2017; 118:147–58. doi: 10.1016/j.resuscitation.2017.05.028.
82. Langhelle A, Nolan J, Herlitz J, Castren M, Wenzel V, Soreide E et al. Recommended guidelines for reviewing, reporting, and conducting research on post-resuscitation care: the Utstein style. *Resuscitation* 2005; 66(3):271–83. doi: 10.1016/j.resuscitation.2005.06.005.
83. Perkins GD, Jacobs IG, Nadkarni VM, Berg RA, Bhanji F, Biarent D et al. Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update of the Utstein Resuscitation Registry Templates for Out-of-Hospital Cardiac Arrest: a statement for healthcare professionals from a task force of the International Liaison Committee on Resuscitation (American Heart Association, European Resuscitation Council, Australian and New Zealand Council on Resuscitation, Heart and Stroke Foundation of Canada, InterAmerican Heart Foundation, Resuscitation Council of Southern Africa, Resuscitation Council of Asia); and the American Heart Association Emergency Cardiovascular Care Committee and the Council on Cardiopulmonary, Critical Care, Perioperative and Resuscitation. *Circulation* 2015; 132(13):1286–300. doi: 10.1161/CIR.000000000000144.
84. Benchmarking in der Notfallmedizin: Das Reanimationsregister - Gerhard Prause - YouTube; 2021 [Stand: 24.06.2021]. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=E8F76o00ido>.
85. Reynolds EC, Soar J. How are cerebral performance category scores measured for audit and research purposes? *Resuscitation* 2014; 85(5):e73-4. doi: 10.1016/j.resuscitation.2014.01.011.

86. Blewer AL, McGovern SK, Schmicker RH, May S, Morrison LJ, Aufderheide TP et al. Gender Disparities Among Adult Recipients of Bystander Cardiopulmonary Resuscitation in the Public. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes* 2018; 11(8):e004710. doi: 10.1161/CIRCOUTCOMES.118.004710.
87. Herold G. *Innere Medizin* 2020. 1. Auflage. Berlin/Boston: De Gruyter; 2020.
88. Oberpeilsteiner B. *Outcome-Analyse bei Herz-Kreislauf-Stillstand [Diplomarbeit]*. Graz: Medizinische Universität Graz; 2018.
89. Drück mich! Herzstillstand. rufen drücken schocken. Unterstützen - Drück mich! Herzstillstand. >rufen >drücken >schocken; 2021 [Stand: 06.06.2021]. Verfügbar unter: <https://www.drueckmich.at/unterstuetzen/>.
90. Mobile Retter – Jede Sekunde zählt!; 2021 [Stand: 06.06.2021]. Verfügbar unter: <https://www.mobile-retter.org/>.
91. Puls.at. Lebensretter-App - Puls.at; 2020 [Stand: 06.06.2021]. Verfügbar unter: <https://www.puls.at/projekte/lebensretter-app/>.
92. Ajam K, Gold LS, Beck SS, Damon S, Phelps R, Rea TD. Reliability of the Cerebral Performance Category to classify neurological status among survivors of ventricular fibrillation arrest: a cohort study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2011; 19:38. doi: 10.1186/1757-7241-19-38.
93. Grossestreuer AV, Abella BS, Sheak KR, Cinousis MJ, Perman SM, Leary M et al. Inter-rater reliability of post-arrest cerebral performance category (CPC) scores. *Resuscitation* 2016; 109:21–4. doi: 10.1016/j.resuscitation.2016.09.006.
94. Rittenberger JC, Raina K, Holm MB, Kim YJ, Callaway CW. Association between Cerebral Performance Category, Modified Rankin Scale, and discharge disposition after cardiac arrest. *Resuscitation* 2011; 82(8):1036–40. doi: 10.1016/j.resuscitation.2011.03.034.